

**WP KGTU K CF 'EQO RNWGP UG'F G'O CF T K "**

**"**

**HCE WNVCF 'F G' HKNQUQH' C"**

**F gr ct vco gpw'f g'N»i lec'{' Hmuph'f g'lr'Elgpek "**

**"**



**"**

**NC'VGQT~C'F G'NC'T GNCVK K CF 'GP'NC'H U K C"**  
**[ 'O CVGO f V K C'GURC§ QNCU<WP 'ECR~VWNQ'F G"**  
**NC'J KUVQTK'F G'NC'EKGPEK'GP'GURC§ C0'**

**O GO QTK'RCTC'QRVCT'CN'I TCFQ'F G'FQEVQT"**

**RTGUGP VCF C'RQT"**

**Rcdm'Uqrgt 'Hgt t<sup>a</sup> p**

Bajo la dirección del doctor

Andrés Rivadulla Rodríguez

**O cf t k .'422; "**

- **KDP<';9:/: 6/8; 4/; ; 74/6"**  
.....  
.....  
.....

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE FILOSOFÍA

Departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia



TESIS DOCTORAL

La Teoría de la Relatividad en la Física y Matemática Españolas.  
Un capítulo de la Historia de la Ciencia en España.

Pablo Soler Ferrán

2008



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Facultad de Filosofía

Departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia

La Teoría de la Relatividad en la Física y Matemática Españolas.  
Un capítulo de la Historia de la Ciencia en España.

Memoria para optar al grado de doctor presentada por

Pablo Soler Ferrán

Bajo la dirección del Doctor

Andrés Rivadulla Rodríguez

Madrid, Noviembre 2008



A María Asunción Ferrán Cases y a la memoria de Manuel Soler Aranaz



*The most beautiful experience we can have is the mysterious. It is the fundamental emotion that stands at the cradle of true art and true science.*

Albert Einstein ("The World As I see It")

*Si la Humanidad no ha desentrañado el misterio de la Naturaleza, sí puede afirmarse que cada vez lo miramos más de cerca (..) Ni debe preocupar al investigador que, al conquistar una región rebelde de la Naturaleza, ésta le descubra, burlona, otras nuevas regiones inexploradas; lejos de aminorar esto el triunfo, lo amplía y lo estimula, haciéndole conocer nuevas facetas del misterio.*

Pedro Carrasco (*Filosofía de la Mecánica*)

*Ya para entonces me había dado cuenta de que buscar era mi signo, emblema de los que salen de noche sin propósito fijo, razón de los matadores de brújulas.*

Julio Cortázar (*Rayuela*)

*La duda nutre a cada paso ese relato interminable que hemos llamado historia.*

Jorge Zentner (*El cosmógrafo Sebastian Caboto*)





## AGRADECIMIENTOS

A Andrés Rivadulla, por su dirección de esta tesis, su buen criterio, sus siempre interesantes apreciaciones y comentarios, así como por su riguroso repaso y corrección del texto. También por su trato afable y buen humor, que hacía de las reuniones de trabajo y seguimiento momentos estupendos.

A Chus Martín, José Manuel Senovilla, Jesús Biel y José M. Vaquero Martínez, por haberme proporcionado información muy valiosa.

A Lluís Bel, por su atención y generosidad al enviarme una copia de su curso sobre Mecánica Relativista Predictiva.

A África Ricol, del *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial*, por ser tan amable y por su interés y ayuda en la localización de información sobre Emilio Herrera.

A Santiago García, del *Observatorio Astronómico de Madrid*, así como a Itziar Serrano de la *Real Sociedad Española de Física*, por su amabilidad. Igualmente a los profesionales de las diferentes bibliotecas de la Universidad Complutense de Madrid, así como de muchas otras universidades españolas, del CSIC, de la BNE y de las Academias de Ciencias, en especial la de Madrid.

A José Pedro Santos, por sus certeros comentarios y su amistad, que mantenemos incluso después de su generosa revisión del texto.

A Marion Duc, por su ayuda con los textos en francés.

A José Benjamín Sánchez, por su paciente atención a mis llamadas de socorro con el procesador de textos.

A Buby García, por su ayuda con las geometrías no-euclídeas, su contagiosa alegría y su paciencia.

A mis compañeras y compañeros de trabajo, por haber sido tan comprensivos con mi caótica vida laboral en los últimos tiempos (en gran parte debido a esta tesis) y por aguantar, resignados, mis desayunos relativistas.

A tantos y tantos hacedores de buena música, por acompañarme en las bonitas horas nocturnas. Lo mismo para creadores del llamado *Noveno Arte*, que me han ayudado a recobrar fuerzas relajándome con sus obras, y a José Antonio, por suministrármelas, gracias a su *Freaks&Friends* que llevaremos siempre en nuestros corazones.

A Diego, Cristina y María, por hacer que me sienta orgulloso de ellos, también durante el tiempo que he dedicado a esta tesis, y por haberme ayudado, los tres con alegría y diligencia, en algunas transcripciones de textos. Además a María tengo que agradecerle su ayuda en algunas búsquedas en Internet, lo que las hizo más amenas, aun no siendo a veces más efectivas. A Cristina por su cariño e interés por el progreso del trabajo y por querer saber por qué hago una tesis si no voy a ganar más dinero. A Diego por su incansable curiosidad sobre física y sobre diversos aspectos de mi tesis, sus preguntas certeras, de las que he aprendido mucho, y por aguantar mis emocionadas charlas sobre el tema, parece que con real interés.

A mi hermana Dulce por su cariño y a María Asunción, mi madre, también por su cariño y por su apoyo y ayuda en los momentos más difíciles.

A Marta, por su ayuda con el editor de ecuaciones y por haber compartido conmigo gran parte del tiempo que he dedicado a este trabajo, pero sobre todo, por todo.

## SUMARIO

Prólogo.....	15
1. Introducción: Objeto, metodología y síntesis del contenido.....	17
1.1. Consideraciones metodológicas .....	23
1.2. Síntesis del contenido. ....	31
2. Aproximación a la recepción y divulgación de la relatividad en España.....	39
2.1. El contexto de la modernización científica de España.....	40
2.2. Relatividad y Filosofía en España.....	54
2.3. El tratamiento de la relatividad en medios religiosos españoles.....	63
2.4. La recepción popular de la relatividad .....	66
3. La relatividad en la ciencia española (1908-1936) .....	71
3.1. Primeras referencias. ....	71
3.2. Los protagonistas de la relatividad en España: Terradas, Cabrera y Plans ...	86
3.2.1. Esteban Terradas (1883-1950), introductor de la relatividad. ....	86
3.2.2. Blas Cabrera (1878-1945), divulgación en la comunidad científica. ....	91
3.2.3. José María Plans (1878-1934), la visión matemática.....	107
3.3. Posicionamiento de la ciencia española ante la relatividad .....	120
3.3.1. La Física española ante la relatividad. ....	121
3.3.2. Los astrónomos españoles ante la relatividad .....	127
3.3.3. Los matemáticos españoles, unanimidad y colaboración internacional. ....	132
3.4. El viaje de Einstein. Conferencias y debates científicos. ....	139
3.5. Contribuciones originales (Plans, Puig Adam y José Isaac Corral) .....	145
3.5.1. Las contribuciones originales de José María Plans .....	146
3.5.2. Puig Adam y el estudio de casos concretos en relatividad restringida... ..	147
3.5.3. Originalidad en Cabrera sobre aspectos pedagógicos. ....	149
3.5.4. José Isaac Corral y la "relatividad elíptica".....	150
3.6. Posicionamientos antirrelativistas, ambiguos y debates asociados.....	157
3.6.1. Propuestas alternativas originales: Pérez del Pulgar y Emilio Herrera ..	170
3.6.2. El debate asociado a las pruebas experimentales .....	177
4. El tratamiento de la relatividad en la ciencia española de 1939 a 1969 .....	181
4.1. El contexto de la ciencia española de la época. ....	181
4.2. Síntesis de publicaciones sobre relatividad en España (1939-1969) .....	193

4.3. El tratamiento de la relatividad como teoría física .....	203
4.3.1. Aspectos históricos sobre el origen y desarrollo de la relatividad .....	203
4.3.2. Teorías especial y general de la relatividad .....	217
4.3.3. El tratamiento de las cosmologías relativistas .....	237
4.3.4. Física cuántica y relatividad .....	252
4.3.5. El tratamiento de las teorías unitarias de campo .....	268
4.4. La propuesta alternativa de Julio Palacios.....	273
4.4.1. Síntesis de la propuesta alternativa de Palacios.....	278
4.4.2. Publicaciones de Palacios sobre relatividad .....	292
4.4.3. Las claves temáticas en el pensamiento de Palacios .....	302
4.4.4. La “cruzada” antirrelativista de Palacios .....	352
4.5. El grupo de físicos relativistas en Francia (Bel, Capella, Mas y De Rafael) .	392
4.5.1. La teoría de la radiación gravitacional de Lluís Bel .....	393
4.5.2. Otras contribuciones de Bel: estudio de soluciones de las ecuaciones de campo y teoría cinética de la cosmología .....	402
4.5.3. Los trabajos de Alfonso Capella sobre cuantificación del campo gravitatorio y teorías lineales de la gravitación .....	404
4.5.4. Lluís Mas: el problema de los N cuerpos en relatividad general y la métrica de Kerr.....	411
4.5.5. El estudio de las correlaciones angulares de Eduardo de Rafael.....	414
4.6. Los trabajos originales de Darío Maravall.....	416
4.6.1. Implicaciones de la cuantificación del espacio y el tiempo de Maravall .	420
4.6.2. Estudio de casos concretos sobre relatividad en Maravall.....	428
4.7. Otros posicionamientos antirrelativistas o ambiguos .....	439
4.8. Los debates en torno a la relatividad en España (1939-1969) .....	456
4.8.1. El debate Ortiz Fornaguera-Palacios .....	456
4.8.2. La controversia en torno al experimento de Kantor.....	463
4.8.3. El debate sobre la paradoja de los relojes .....	465
4.8.4. Otras aproximaciones al debate: la ANFE, Baltá Elías y García Lahoz.	468
4.9. El enfoque matemático de la relatividad .....	472
4.9.1. Cuestiones dimensionales de la relatividad .....	472
4.9.2. La relatividad como motor de la matemática.....	476
4.9.3. La geometría simpléctica en teoría de campos de García Pérez .....	479
4.10. Astronomía y relatividad en España en el periodo 1939-1969. ....	483

4.10.1. Divulgación de novedades (Paluzié, Gullón, Baltá y otros).....	483
4.10.2. Antonio Romañá: la interpretación de datos observacionales .....	498
4.11. Publicaciones sobre relatividad en España de autores extranjeros.....	504
4.12. Los científicos españoles en el exilio ante la relatividad. ....	513
4.12.1. Blas Cabrera, Pedro Carrasco y Emilio Herrera.....	513
4.12.2. Los trabajos sobre óptica relativista de Martínez-Risco en Francia .....	520
4.12.3. Luis A. Santaló: el cálculo tensorial en relatividad y teorías unitarias. .	525
4.13. La relatividad en los planes de estudios universitarios .....	532
5. La relatividad como nuevo campo de investigación en España (1970-1979).....	537
5.1. Mecánica relativista predictiva .....	539
5.2. Teoría cinética de la cosmología y termodinámica relativista. ....	546
5.3. Otros aspectos genéricos de la relatividad .....	556
5.4. Los primeros <i>Encuentros Relativistas Españoles, Asambleas Nacionales de Astronomía y Astrofísica</i> y otras jornadas sobre relatividad.....	574
6. Conclusiones .....	583
6.1. Principales hitos en el tratamiento de la relatividad por la ciencia española .	583
6.2. Consideraciones personales y propuestas para el debate .....	592
Bibliografía .....	601
Referencias originales por autor .....	602
Referencias originales por año .....	636
Bibliografía secundaria.....	673



## **PRÓLOGO**

Entre sus múltiples escritos no científicos, Einstein reflexionó sobre la búsqueda del misterio, que se encuentra en el verdadero arte y la verdadera ciencia. Creo que la mayor aventura que puede realizar un ser humano es la aventura intelectual que supone esa búsqueda, lo que ha permitido crear, por un lado, grandes obras de arte, y por otro, grandes teorías científicas y revoluciones conceptuales. Sin duda, entre estas últimas están las Teorías Especial y General de la Relatividad. Gracias a estos logros en el terreno artístico y científico, terceras personas pueden experimentar la pequeña aventura de aproximarse a dichas obras, intentar comprenderlas, asimilarlas, y ser partícipes, en definitiva, del misterio que inicialmente les atrajo de ellas.

Entender el complejo proceso histórico del origen y desarrollo de las teorías científicas, supone igualmente un gran enriquecimiento personal. En el caso que nos ocupa, la relatividad, cabe analizar como parte de dicho proceso la recepción y asimilación de la misma en una comunidad científica determinada, como la española, así como las contribuciones a su divulgación y desarrollo con propuestas más o menos originales. También, por supuesto, hay que considerar los intentos, con mayor o menor rigor científico, de refutación de la teoría que, en definitiva, favorecen el debate basado en la racionalidad científica.

Este trabajo supone un viaje a través de la historia de la ciencia española desde 1908 a 1979 y de la historia de la relatividad como teoría abierta. Por abierta quiero indicar que no se cierra con las teorías especial y general establecidas por Einstein en 1905 y 1915 respectivamente. Efectivamente la Teoría de la Relatividad tuvo (y tiene) que ampliarse mediante las comprobaciones experimentales asociadas a las observaciones astronómicas, la formulación de modelos cosmológicos compatibles con su base teórica, la aplicación a casos concretos tanto reales como imaginarios, la formulación de teorías más generales que la contengan como caso límite (teorías unitarias de campo, por ejemplo), la relación con otras disciplinas de la Física (electromagnetismo, física cuántica, termodinámica), así como el formulismo matemático que posibilita nuevos horizontes, en definitiva debe estar abierta al desarrollo del conocimiento científico. A través del tratamiento de la relatividad en la ciencia española, recorreremos muchos de estos aspectos.

Gracias a la excelente labor de algunos historiadores de la ciencia conocemos las aportaciones de algunos de nuestros protagonistas, como Blas Cabrera o Esteban Terradas, entre otros. Pero muchos otros científicos tratados en este trabajo, aun siendo conocidos por los especialistas en relatividad, probablemente no lo sean en ámbitos más generales sobre Historia de la Ciencia Española. Quiero destacar especialmente el caso de Lluís Bel, quien realizó contribuciones originales sobre radiación gravitacional y otros aspectos sobre relatividad, reconocidas internacionalmente. Algunos de sus discípulos le consideran el “padre” de los relativistas españoles, por su significación en la creación del primer grupo de físicos relativistas en España a principios de los años setenta del siglo XX.



Con esta tesis quiero realizar un tributo a tantos científicos españoles (físicos, matemáticos, astrónomos, ingenieros) que participaron, unos inicialmente en la divulgación y asimilación de la relatividad en España, otros en el análisis profundo de su desarrollo e implicaciones científicas, o en la aportación de algunos aspectos originales, independientemente de que tuvieran más o menos éxito, así como en labores de investigación reconocidas por los especialistas. Por lo tanto, sirva este trabajo como reconocimiento a los protagonistas de esta historia. De muchos de ellos nos queda su obra y su memoria<sup>1</sup>. Otros siguen construyendo uno de los bienes más preciados de la humanidad, la Ciencia. Si mi trabajo aquí expuesto ayuda a que dicho reconocimiento se extienda, habrá merecido la pena el esfuerzo.

---

<sup>1</sup> Estando este trabajo en fase de borrador para su revisión, desgraciadamente ha fallecido Francisco José Ynduráin, uno de los protagonistas de esta historia por sus contribuciones a la teoría cuántica de campos, evidentemente relacionada con la relatividad. No le conocí personalmente, pero recuerdo con mucho agrado su conferencia de Septiembre de 2005 en San Sebastián, en un ciclo en homenaje a Einstein. La disfruté, además de por el contenido en sí, por su buen humor que hizo que los presentes nos riéramos con ganas. Sirvan estas líneas también como tributo a su memoria.

## **1. INTRODUCCIÓN: OBJETO, METODOLOGÍA Y SÍNTESIS DEL CONTENIDO**

Esta tesis tiene por objeto analizar el tratamiento de la Teoría de la Relatividad en la ciencia española, en concreto por los físicos, matemáticos y astrónomos. Este análisis abarca el proceso de recepción de la relatividad en España, el tratamiento posterior de la misma, así como la labor investigadora al respecto protagonizada por científicos españoles. El período abarcado es desde 1908 hasta 1979. En 1908 aparecen en España las primeras referencias explícitas sobre la teoría de Einstein, aunque ya desde 1903 se reflejaron en nuestro país las ideas prerrelativistas de Poincaré, que se enmarcan en la situación previa de crisis de la Física que dio origen a la relatividad especial. En 1979 se puede considerar la Teoría de la Relatividad como paradigma asentado de la ciencia española, ya que desde principios de los años setenta se venía realizando una importante labor investigadora sobre esta disciplina en nuestro país.

Desde el ámbito de la Historia y Filosofía de la Ciencia, es evidente el interés que tiene el análisis del proceso por el cual se produce una revolución científica y, como parte del mismo, las fases de aceptación inicial, difusión, crítica y asimilación del nuevo paradigma científico. En una interpretación social de la Ciencia se puede plantear en qué medida el desarrollo de las teorías científicas está influenciado por el entramado social en el que sus creadores están inmersos. Otra interpretación, la que aquí interesa y menos externalista, es el proceso recíproco; es decir, cómo influyen en la sociedad las nuevas teorías científicas y cómo reacciona la propia sociedad y la ciencia como parte constituyente de aquélla. Dos ejemplos claros del interés de este estudio son el darwinismo y la relatividad. En definitiva, el estudio de los procesos de recepción de teorías científicas es fundamental para entender los fenómenos de interacción ciencia-sociedad.

Pero, ¿qué entiendo por proceso de recepción de nuevas ideas científicas?. Considero que abarca la introducción de las ideas asociadas a la nueva teoría, su asimilación y posterior difusión entre la comunidad científica, así como la divulgación popular de la misma. También se puede considerar parte del proceso de recepción la resistencia a su asimilación o la asimilación intermedia o errónea, así como la formulación de teorías alternativas o claramente contrarias a la teoría emergente, y la existencia de debates científicos e intelectuales. El proceso de recepción de una teoría revolucionaria se puede considerar concluido con la asimilación de dicha teoría por la comunidad científica, pasando a formar parte de lo que se ha dado en llamar paradigma científico. Pero esta situación no evoluciona de la misma forma en diferentes países, pudiendo haber coyunturas específicas de cada caso. De esta forma, puede ocurrir que la asimilación a modo de adquisición del nuevo paradigma, o la posterior dirección en cuanto a labor investigadora, evolucione de forma particular, como considero ha sido el caso de España con las teorías especial y general de la relatividad.

Esta particularidad española no se refiere al proceso inicial de recepción de la relatividad (donde la introducción, asimilación y difusión de la relatividad se produjo de forma similar a la de otros países de nuestro entorno), ni al establecimiento de la relatividad como paradigma, en cuanto su asimilación por parte de nuestros científicos,

pero sí en cuanto a la investigación en relatividad (que empezó tardíamente, a principios de los años setenta) como consecuencia de la idiosincrasia de la ciencia española a raíz de la Guerra Civil. Para que el paradigma se considere completamente asentado, la consolidación de la nueva teoría debe implicar una dirección científica encaminada a trabajar con ella, mediante dirección de tesis, organización de congresos, publicación de trabajos originales de investigación, situación que no se dio en España hasta los años 1970 y 1971, mientras en países como Francia ya había desde la década de los cincuenta grupos de investigación sobre relatividad, de los que participaron algunos españoles en el exilio, como Martínez Risco, o emigrados para realizar estudios de doctorado, como Lluís Bel o Lluís Mas.

En definitiva, el análisis de los procesos de recepción de las teorías científicas revolucionarias, y la relatividad en mi opinión lo fue<sup>1</sup>, es fundamental tanto para el estudio del proceso mismo de desarrollo de la propia revolución científica, como para el análisis de la ciencia y cultura donde se ha producido dicho proceso de recepción. Así, desde el punto de vista local del estudio de la Historia de la Ciencia de un país, resulta fundamental el impacto de una nueva teoría emergente, cómo fue criticada o asimilada por la comunidad científica. Es decir, forma parte esencial de lo que se ha dado en llamar Historia Social de la Ciencia. Al respecto suscribo las siguientes palabras de Vizgin y Gorelik:<sup>2</sup>

La creación y confirmación de la teoría de la relatividad fue uno de principales hechos revolucionarios en las ciencias naturales en el primer tercio del siglo XX. Los procesos revolucionarios no sólo son un acto de descubrimiento científico que se concretan en una serie de publicaciones. Es también un proceso de recepción y asimilación del descubrimiento, el cual se desarrolla en toda la comunidad científica y abarca años e incluso décadas. La Ciencia en esencia es internacional. Pero la internacionalización de las ideas y teorías científicas que surgen en uno o varios países puede ser un fenómeno complejo y largo. El estudio de esta clase de fenómenos clarifica la condición de la ciencia en un país concreto y las peculiaridades de su desarrollo científico y cultural.

La recepción de la relatividad en España es significativa en la Historia de la Ciencia en España porque se enmarca dentro del periodo denominado "Edad de Plata" de la ciencia española, una de las consecuencias del intento de modernización de España a principios del siglo XX. Este avance de la ciencia española fue una de las etapas más importantes en nuestra historia reciente, ya no sólo desde el punto de vista científico, si no también cultural y político.

La ciencia española de comienzos del siglo XX, y la física en particular, comenzó su fase de institucionalización con la creación de sociedades científicas, de internacionalización gracias a las becas para estudiar en el extranjero, de especialización con la creación de laboratorios apropiados para la investigación, en

---

<sup>1</sup> Aunque es una idea discutible, en mi opinión tanto la relatividad especial como general fueron cada una de ellas una revolución científica, la primera por los cambios conceptuales que implicó respecto al espacio y el tiempo; la segunda por la nueva teoría de la gravitación asociada.

<sup>2</sup> "The reception of the theory of relativity in Russia and the USSR", en Thomas Glick editor, *The comparative reception of Relativity*, Boston, 1987, pág. 265. (La traducción es mía).

definitiva de modernización en todos los órdenes. Todos estos aspectos se verán más adelante, pero sí puedo adelantar que el proceso renovador citado facilitó la introducción de la relatividad y, a su vez, su difusión ayudó al prestigio de la ciencia española y a favorecer su dimensión social e institucional (por ejemplo con colaboraciones entre científicos de diferentes países). Un ejemplo de todo lo anteriormente expuesto es el viaje de Einstein a España con la implicación que tuvo en cuanto a la preparación del mismo por parte de los científicos españoles, explosión bibliográfica y, en definitiva, de impacto social.

Es conocido que este momento de esplendor de la ciencia española, y en concreto de la física con los éxitos reconocidos internacionalmente de Cabrera en magnetismo o Catalán gracias al descubrimiento de los multipletes, se truncó de forma dramática con la Guerra Civil. Pues bien, también el tratamiento de la relatividad, donde había físicos y matemáticos con capacidad para realizar aportaciones significativas, se vio afectado por la involución producida en el desarrollo científico, no tanto sobre su aceptación como teoría consolidada, pero sí en cuanto a posibilidades de investigación sobre la misma, posibilidades que se venían apuntando antes del conflicto.

Como constatación de la importancia para la Historia de la Ciencia del análisis de recepción de teorías científicas revolucionarias, en el caso de la relatividad dicho proceso ha sido ampliamente tratado en libros específicos sobre su historia<sup>3</sup>. Es evidente que en el proceso de interacción ciencia-sociedad, la divulgación de las novedades y avances científicos juega un papel prioritario. Así, en biografías sobre científicos es frecuente analizar, además de sus trabajos de creación original, la labor de divulgación que hayan podido llevar a cabo sobre la misma ciencia que desarrollan o las novedades producidas en su disciplina de trabajo, como miembros de la comunidad científica que interaccionan con la sociedad. Ejemplos al respecto son Terradas<sup>4</sup> y Blas Cabrera. Es especialmente revelador el caso de Blas Cabrera, considerado el padre de la física española y reconocida autoridad mundial de la época en magnetismo, cuando, a pesar de no haber trabajado directamente sobre relatividad, realizó una enorme labor de introducción y divulgación de la misma, a la que dedicó esfuerzo y una parte importante de su tiempo, poniendo de manifiesto su dimensión social como figura destacada de la comunidad científica española.

Esta tesis se limita a la recepción, asimilación y posterior tratamiento de la relatividad en España por parte de la comunidad científica especializada, entendiendo por tal la Física, la Matemática y, en menor medida, la Astronomía (podríamos considerar a astrónomos como físicos y/o matemáticos). Circunstancialmente también aparecen en esta historia algunos ingenieros. En España realmente los procesos de introducción y primera divulgación fueron protagonizados exclusivamente por los físicos y matemáticos. Posteriormente, con la divulgación popular, este protagonismo se diluyó entre múltiples miembros de la comunidad científica (ingenieros, científicos de otras disciplinas) e intelectual. También se dieron resistencias a su asimilación y

---

<sup>3</sup> Por ejemplo: Sánchez Ron, *El origen y desarrollo de la Relatividad*, Alianza Editorial, Madrid, 1985; Abraham Pais, *El Señor es sutil, la ciencia y la vida de Albert Einstein*, Ariel, 1984.

<sup>4</sup> En Roca Rosell y Sánchez Ron, *Esteban Terradas. Ciencia y técnica en la España contemporánea*, INTA-Serbal, Madrid, 1990, se ha destacado esta función en absoluto marginal.

establecimientos de teorías alternativas o claramente antirrelativistas, así como debates científicos (o seudocientíficos, según los casos, como veremos). Pero en este trabajo analizaré preferentemente los diferentes posicionamientos y casos de debates protagonizados por los miembros de la comunidad científica especializada, es decir excluyo el tratamiento de ingenieros<sup>5</sup> (salvo excepciones interesantes por sus propuestas alternativas o contribuciones originales) y científicos de otras disciplinas, filósofos de la comunidad intelectual y de los medios de divulgación generales asociados con la recepción popular. Únicamente, en el capítulo segundo, dedicado a una visión general del proceso de recepción de la relatividad en España señalo lo más destacado de las aportaciones del pensamiento filosófico y religioso español. Posteriormente, ya me centro exclusivamente en la comunidad científica.

El motivo de considerar a los matemáticos como parte de la comunidad especializada asociada a la relatividad es obvio, tanto por el papel jugado por ellos en el desarrollo de la relatividad (especialmente los italianos con el cálculo tensorial y el cálculo diferencial absoluto), como por el papel protagonizado en España por la comunidad matemática española como principal foco de recepción institucional a través de la *Sociedad Matemática Española*. Un ejemplo se verá con la visita de Einstein a Madrid. Todos estos aspectos los veremos en el desarrollo del trabajo.

Igualmente se hace necesario tener en cuenta el papel de los astrónomos, independientemente de que en su formación inicial fueran físicos o matemáticos. Veremos abundantes ejemplos de su labor de divulgación en aspectos astronómicos relacionados con la relatividad.

En principio se puede considerar que el proceso de recepción como tal finalizó con la década de los 20, cuando entre los principales científicos estaba asumida la relatividad, pero he extendido el análisis del proceso, con el correspondiente estudio bibliográfico, hasta el comienzo de la Guerra Civil, por considerar que se cubre un periodo completo de evolución y desarrollo científico en España, siendo parte de ese fenómeno de modernización la asimilación de la nueva física y las relaciones que implicaba.

En la España franquista, junto con interesantes aportaciones individuales de muchos científicos en cuanto a difusión de novedades asociadas a la relatividad y algunos trabajos científicos sobre la misma (como Terradas u Ortiz Fornaguera, entre otros), destaca la prolongada crítica a la teoría de Einstein por parte de Julio Palacios, principal figura de la Física en España en la primera mitad de la dictadura (habiéndose exiliado la mayoría de sus colegas más capaces). Palacios intentó establecer una teoría alternativa a la de Einstein, que salvase las concepciones newtonianas del espacio y el tiempo. Igualmente destacó Darío Maravall con bastantes trabajos en los que intentaba aportar originalidad en diversas cuestiones sobre relatividad. Hasta 1967 no empezó una tímida labor investigadora en España sobre cuestiones directamente asociadas a la relatividad. Por último, aunque la labor investigadora en España durante la dictadura fue escasa sobre física teórica, hubo aportaciones interesantes en

---

<sup>5</sup> Hay que anotar las dificultades de esta clasificación, ya que a principios del siglo XX muchas facultades incluían una licenciatura común en ciencias físico-matemáticas. Además, muchos protagonistas de esta historia eran a la vez ingenieros, físicos y matemáticos.

física cuántica, gracias a la prioridad investigadora sobre física nuclear y de altas energías. Sobre esta labor hubo, indirectamente, contribuciones sobre física cuántica relativista, lo que es obligado analizar.

Pero sin duda alguna, la aportación más trascendental de científicos españoles en los años del franquismo, que no de la ciencia española, es la labor de investigación sobre relatividad llevada a cabo por licenciados españoles en física y becados en Francia para realizar estudios de doctorado en el país vecino. Posteriormente formarían parte, también en Francia, de grupos de investigación, principalmente del CNRS (el equivalente al CSIC español). Me refiero a Lluís Bel, Alfonso Capella y Lluís Mas. Aquí surge la cuestión de si la labor de estos físicos españoles es producto de la ciencia francesa y debería ser tratado en un trabajo de este alcance, en principio limitado a la ciencia española. En mi opinión, en cuanto a formación inicial son miembros de la comunidad científica española, pero en cuanto a la formación especializada y labor investigadora, lo son de la comunidad francesa. Aun así, considero conveniente el análisis de su trabajo en los años cincuenta y sesenta en Francia por tres motivos: la participación en 1965 de Bel y Capella en un congreso sobre física teórica en España, donde expondrían los principales resultados de sus investigaciones (que además aparecieron en actas publicadas en nuestro país); la presentación de la tesis doctoral de Lluís Mas por la Universidad de Barcelona; y por el hecho de que Bel estuviera en España desde 1971 a 1973 y fuera determinante en la creación de grupos de investigación sobre relatividad en España. La contribución más importante a la relatividad entre los físicos españoles es la de Lluís Bel, con reconocimiento internacional por su aportación original sobre radiación gravitacional y el establecimiento de un nuevo tensor usado en relatividad general. Además, se le considera el “padre” de los relativistas españoles por organizar en España, a partir de 1971, un grupo específico de investigadores en relatividad. La labor de Bel realizada en Francia fue determinante en la dirección concreta de líneas de investigación sobre relatividad en España, como mecánica relativista predictiva o teoría cinética de la cosmología.

Efectivamente, a principio de la década de los setenta se produce el comienzo de una importante función investigadora sobre relatividad (no ya como meras aportaciones aisladas), con la publicación de trabajos originales en revistas extranjeras, la elaboración, ya por fin, de tesis doctorales sobre relatividad, y el comienzo de los *Encuentros Relativistas Españoles*, todo ello asociado al intento de renovación científica en España con las nuevas políticas científicas. Se puede establecer este proceso renovador, con ciertas reservas, en 1969 gracias a la creación de las Universidades Autónomas y los intentos de reincorporar, a partir de 1970, a destacados científicos españoles en el extranjero. Por lo tanto, con estas nuevas directivas de trabajo, se puede considerar la Teoría de la Relatividad como paradigma ya completamente asentado en España (paradigma asentado en cuanto a labor investigadora asociada, ya que como cuerpo de doctrina de la física sí estaba establecida en la España franquista), con lo que se marca el final del objeto de este trabajo.

Igualmente, sería injusto olvidar la importante labor de los científicos españoles en el exilio, donde, en el campo de la relatividad, destacan el matemático Luis Antonio

Santaló y el físico Martínez-Risco. Especialmente este último por sus trabajos sobre óptica relativista llevados a cabo en su exilio francés.

## 1.1. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

Sobre cuestiones de contenido, en principio parece pertinente ofrecer una visión general tanto del origen y desarrollo de la relatividad, como de la situación de la ciencia española en cada una de las épocas que cubre este trabajo. Pero son temas de sobra conocidos y de los que hay mucha bibliografía en castellano, y muy buena, con lo que no aportaría nada significativo dedicar apartados específicos para ello. Aún así, en lo relativo al desarrollo histórico de la relatividad, ahí donde se requiera, he mostrado algunos aspectos de dicho desarrollo histórico, bien en el propio texto cuando los aspectos históricos estén directamente relacionados con el tratamiento dado en nuestro país, o bien en notas al pie aclaratorias. En este sentido hay que señalar que algunos de los protagonistas de nuestra historia, especialmente en las décadas de los cincuenta y sesenta del siglo XX, publicaron trabajos en los que se trataban aspectos históricos de la relatividad. Evidentemente estas referencias las analizo en detalle durante el texto.

En cuanto a la situación general y desarrollo de la física, matemática y astronomía españolas se resumen los aspectos más relevantes en diferentes apartados, según la separación establecida por periodos, destacando los aspectos directamente relacionados con el tratamiento dado a la relatividad. Evidentemente, no es el objeto aquí desarrollar este tema en profundidad, aun así se indican las características generales que ayudan a clarificar aspectos relacionados con el tratamiento de la relatividad en España.

Aunque he comentado anteriormente que el objeto de estudio es el de los científicos especializados, he creído conveniente dedicar un capítulo completo al proceso de recepción de la relatividad, incluyendo una visión general de la recepción popular de la relatividad, el tratamiento por los filósofos españoles, así como otros ámbitos como el eclesiástico. Considero que ayuda a una visión de conjunto que es clarificadora. En los siguientes periodos, después de la Guerra Civil, ya no he considerado las aproximaciones no puramente científicas, por entender que el proceso de recepción ya estaba culminado y la relatividad no tuvo el impacto mediático de los años veinte.

Como se ha indicado anteriormente, según el objeto de este estudio, las fuentes originales consultadas son las publicaciones protagonizadas por físicos, matemáticos y astrónomos, o bien, por otros protagonistas cuyos casos han aparecido en medios especializados propios de la Física, las Matemáticas o la Astronomía. Respecto al posicionamiento del pensamiento español, en el capítulo 2 se da una visión general, sin análisis detallado de textos originales, que permite apuntar futuras vías de profundización en ulteriores trabajos.

Antes de concretar el procedimiento seguido para el desarrollo de este trabajo, creo conveniente matizar algunas cuestiones sobre el alcance de la originalidad de esta tesis, en relación con la historiografía reciente sobre el tratamiento de la relatividad en España. Existen varios libros y artículos sobre el proceso de recepción de la teoría einsteniana en nuestro país desde 1908 a 1936, así como algunos escuetos trabajos sobre la teoría antirrelativista propuesta por Julio Palacios a partir de 1955. También



existen trabajos recientes sobre la importancia del GIFT (Grupo Interuniversitario de Física Teórica) en España y sobre los físicos establecidos en Francia para realizar estudios avanzados y ejercer profesionalmente la investigación en física. Las diferentes referencias irán apareciendo a lo largo del texto.

Sin duda, de esta bibliografía secundaria, la obra más completa es la de Glick (1986) abarcando el periodo de recepción, periodo sobre el que además hay abundante bibliografía, tanto específica, como biografías de Cabrera, Terradas o Emilio Herrera, en las que evidentemente se analiza su contribución a la difusión de la relatividad. También hay bastante bibliografía sobre la propuesta antirrelativista de Palacios. Por lo tanto, en principio, la primera parte de este trabajo (capítulos segundo y tercero), pudiera pensarse, en cuanto a contenido global, que no es original. Pero del análisis detallado de las fuentes originales de esta época, desde 1905 hasta 1936, creo haber aportado algún valor añadido al respecto, en cuanto al estudio de referencias que, posiblemente, no se hayan indicado anteriormente, así como en la profundidad del análisis de algunos textos. Por todo ello he llegado a conclusiones sobre tópicos en el proceso de recepción que difieren en algún sentido de los estudios anteriormente aparecidos (por ejemplo en el debate de si en España existía una situación previa de desconocimiento del estado de crisis de la física clásica, o sobre la evolución del pensamiento respecto a la relatividad de algunos de nuestros protagonistas).

La segunda parte, dedicada al tratamiento de la relatividad en la España franquista, considero que aporta originalidad sobre la historiografía correspondiente. Sobre la ya existente, aunque escasa, también he realizado algunas conclusiones que implican alguna discrepancia sobre el tratamiento de la relatividad en esa época. De todo ello se trata en detalle en el capítulo dedicado a las conclusiones.

Para la realización de este trabajo, he realizado una revisión sistemática, lo más completa posible, de lo publicado sobre relatividad en España desde 1905 a 1979 en las publicaciones asociadas a la ciencia especializada. Por tales he considerado las revistas de las sociedades científicas (Física y Química, Matemáticas, Astronomía), de las tres Academias de Ciencias existentes, revistas específicas de física, matemáticas y astronomía, publicaciones de observatorios astronómicos, actas de congresos (en la primera parte de la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, más tarde otros más específicos), publicaciones bajo el auspicio de la JAE (*Junta de Ampliación de Estudios*) y del CSIC (*Consejo Superior de Investigaciones Científicas*), Tesis doctorales, otras revistas científicas, así como libros escritos por científicos especializados. En algunos casos, se han considerado otros medios (revistas de divulgación científica, revistas de filosofía, publicaciones de conferencias, enciclopedias, revistas de ingeniería, ) cuando el autor de los trabajos es uno de los principales protagonistas de nuestra historia (como Cabrera, Terradas, Plans, Palacios, etc) aunque sobre este tipo de publicaciones no he realizado una consulta sistemática a lo largo de todos los años. Igualmente, de revistas científicas extranjeras he consultado los respectivos artículos en función de las citas que los referenciaban.

La relación de publicaciones especializadas consultadas es la siguiente:

- *Anales de la Real Sociedad Española de Física y Química.*
- *Physicalia* (Revista de la Asociación Nacional de Físicos Españoles).
- *INE* (Revista del Instituto Nacional de Electrónica).
- Revistas de Física Aplicada del CSIC.
- *Revista de la Sociedad Matemática Española. Revista Matemática Hispanoamericana.*<sup>1</sup>
- *Gaceta Matemática* (Revista de divulgación matemática de la Sociedad Matemática Española).
- *Collectanea Mathematica* (Revista del seminario matemático de la Universidad de Barcelona)
- *Arquimedes* (Revista de matemáticas del CSIC).
- Actas de Congresos de la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*. Secciones de Matemáticas, Astronomía y Ciencias Físico-químicas.
- Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid (Revista, Discursos de inauguración, actos conmemorativos, etc).
- *Memorias de la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.*
- *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza.*
- *Revista de la Sociedad Astronómica de España. Urania* (revista de la Sociedad Astronómica de España y América, continuación de la anterior).
- *Aster* (revista de agrupación astronómica de Barcelona).
- *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid.*
- Boletín de diferentes observatorios, como el de Fabra, Observatorio del Ebro, Santiago.
- Actas de *Encuentros Relativistas Españoles.*
- Actas de *Asambleas Nacionales de Astronomía y Astrofísica.*
- Actas de *Primera Reunión de Física Teórica del GIFT*, 1965.
- Tesis doctorales.
- Publicaciones de las Universidades de Madrid, Barcelona y Zaragoza (Anuarios, discursos de inauguración de cursos, etc).
- Libros bajo el auspicio de la JAE, CSIC, *Residencia de Estudiantes*, Academias de Ciencias, Universidades, etc.
- Libros de texto universitarios.

---

<sup>1</sup> Se pueden considerar la misma, ya que esta última fue continuación de la *Revista Matemática*, son el órgano oficial de difusión de la *Sociedad Matemática Española*, y por ello, el principal medio de uso de los especialistas.

Evidentemente en esta relación hay que incluir las revistas extranjeras, pero de éstas, como es lógico, no he realizado una revisión sistemática año por año del contenido, sino búsquedas por autores españoles y en los índices respectivos, preferentemente en las disponibles en catálogos “en línea” desde Internet. La relación es amplia, pero destacaron los medios franceses, como *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, *Ann Inst. Henri Poincaré*, *Cahiers de Physique*, *Journal de Physique et le Radium*, también la italiana *Il Nuovo Cimento*, y ya en los años setenta revistas como *American Journal of Physics*, *Astrophysical Journal*, *Astronomy and Astrophysics*, *Journal of Mathematical Physics*, *Journal of Physics*, *Physical Review*, etc

Respecto a las tesis doctorales, me he servido principalmente de los catálogos de las diferentes universidades, del catálogo *TESEO* y otros de Internet. Uno de los problemas es que en el catálogo *TESEO* sólo aparecen tesis doctorales desde 1976. En la bibliografía de fuentes primarias he indicado tanto las que he consultado “in situ”, las que estaban disponibles los resúmenes respectivos en diversas publicaciones, y de las que he podido obtener información de la síntesis asociada a *TESEO*.

En cuanto a publicaciones no especializadas pero consideradas de prestigio sobre divulgación científica, he contemplado como fuentes primarias artículos sueltos relacionados con algunos temas específicos o escritos por los principales protagonistas, pero no se ha realizado una revisión completa y sistemática. La relación es la siguiente:

- *Ibérica*.
- *Madrid Científico*.
- *Anales del Instituto Católico de Artes e Industrias (ICAI)* y otras revistas de ingeniería.
- *Enciclopedia Universal Espasa* (se considera por el carácter emblemático del producto y ser la principal referencia en cuanto a divulgación cultural de la época, por lo que es un buen reflejo de la interacción ciencia-sociedad).
- Publicaciones varias de filosofía (*Revista española de filosofía*, *Theoría*, *Arbor*).
- Publicaciones religiosas (*Revista Calasancia*, *Razón y Fe*, etc).

Igualmente ha resultado muy útil la consulta del *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial*, en concreto el fondo relativo a Emilio Herrera, que incluye información relacionada con la relatividad, especialmente la correspondencia entre Herrera y Palacios.

Por último, me ha servido de gran ayuda un amplio texto inédito de Lluís Bel, que me hizo llegar él mismo por correspondencia privada, correspondiente a un curso de Mecánica Relativista Predictiva impartido por él en Barcelona en 1977.

Soy consciente que este trabajo se vería completado con una historia oral, asociada a los temas tratados, en concreto ahí donde fuera posible, a partir de los años sesenta del siglo XX, realizando entrevistas con los protagonistas de esta historia. Lamentablemente, este proyecto, sin duda interesante, se escapa del alcance según el

objetivo marcado, principalmente por la extensión debida al gran período de tiempo abarcado.

Como he indicado anteriormente, sobre las revistas especializadas españolas he realizado una revisión sistemática año por año. En los primeros años, hasta 1920, he revisado otro tipo de documentación, por considerar que había que extender la búsqueda, ya que en el fenómeno de recepción se dan muchos más matices interesantes sobre la interacción ciencia-sociedad. Respecto a Cabrera, Plans y Terradas he consultado todas sus publicaciones sobre relatividad que he podido encontrar, independientemente del medio de publicación. Por otro lado, cuando así lo requería la trascendencia del texto, también he reseñado algunos artículos de revistas de divulgación científica como la revista *Ibérica* o *Madrid Científico*, así como textos de escuelas de ingeniería, como los *Anales* de la escuela de ingenieros ICAI. En estos casos, la revisión no ha sido sistemática por años, ya que, como he señalado, el objetivo del trabajo es la recepción en la ciencia especializada.

En cuanto a textos periodísticos, solo he trabajado con unos pocos por su significación. Ya he comentado anteriormente que la revisión de la auténtica avalancha de información sobre relatividad en España en esos años corresponde al proceso de recepción popular, que no es el objeto de este trabajo. Sobre la producción de Palacios, también se ha utilizado, como excepción, algunos de sus escritos en prensa diaria. Lo mismo se puede afirmar con textos de filósofos o de carácter teológico, en los que una revisión completa de los originales no se contempla en el objetivo de este trabajo. Aun así, he trabajado con algunos textos que considero de especial relevancia, como la Tesis Doctoral de Eugenio D'Ors en 1912, entre otros.

Otros textos importantes que he revisado han sido los libros con exposiciones completas de la relatividad que fueron apareciendo en España a partir de 1920. Evidentemente, en cuanto a libros de física y matemáticas, tanto generales como específicos de relatividad realizados por nuestros protagonistas españoles, los he consultado prácticamente todos (salvo que alguno no se encuentre en ninguna biblioteca española). También he tratado los traducidos en nuestro país de científicos extranjeros importantes como Born, Freundlich, Eddington, el propio Einstein, aunque en menor medida como es lógico. De los libros propios de divulgación popular, cito alguno relevante, pero no he trabajado sobre ellos de forma completa, salvo alguna excepción significativa, como se podrá comprobar a lo largo del contenido, especialmente en cuanto a posicionamientos antirrelativistas.

Respecto a los aspectos matemáticos, en el desarrollo de los temas he procurado trasladar las expresiones formales al lenguaje natural, lo que no siempre es posible. Resulta difícil realizar una historia de la relatividad y de sus procesos de recepción sin usar las matemáticas. En cuanto a los conceptos de la mecánica clásica y relativista, de la física cuántica y del electromagnetismo, en determinadas circunstancias he insertado notas al pie para aclarar algunos de estos conceptos.

He puesto especial interés en los trabajos que pueden suponer contribuciones originales realizadas en España sobre relatividad. Aunque algunos autores han hablado de contribuciones originales en la época de recepción, considero que en esos años lo que hubo verdaderamente fueron nuevos enfoques, pero no eran tanto

contribuciones a aspectos teóricos que pudieran trascender internacionalmente, sino aplicaciones concretas sobre casos particulares y nuevos planteamientos sobre cómo enfocar problemas conocidos. Así, aunque dichos trabajos tienen un valor y mérito extraordinario, habría que matizar el término de *contribuciones originales* y quizá considerar el de *planteamientos originales*. Por ejemplo, están los casos de Plans y Puig Adam, que analizo con detalle en el capítulo tercero.

En cuanto a la distribución de capítulos, he creído conveniente presentar un capítulo general de descripción del proceso de recepción a todos los niveles, antes del dedicado en detalle a la recepción científica de la relatividad.

En el capítulo cuarto, dedicado al tratamiento de la relatividad en el periodo 1939-1969, aunque se dedica un apartado específico a cuestiones de la relatividad como teoría física, otro a los aspectos matemáticos y otro a cuestiones astronómicas relacionadas, he dedicado un apartado exclusivo a la propuesta alternativa de Palacios, por el carácter monumental de la obra del físico español al respecto, prolongándose durante más de 15 años, hasta su muerte en 1970. Igualmente hay un apartado concreto para los trabajos de Darío Maravall, por su intento prolongado de aportar originalidad, así como otro específico al grupo de físicos en Francia que investigaron sobre relatividad.

Por último, he procurado, en la medida de lo posible, introducir en el texto unas breves notas biográficas de cada uno de los autores españoles (fechas significativas, tipos de estudios, profesión y principales hitos personales por lo que son conocidos). Esto no siempre ha sido posible. En los protagonistas más relevantes he desarrollado brevemente dichos datos biográficos.

### *Consideraciones sobre la división en periodos*

He dividido el análisis realizado en tres periodos: desde 1908 a 1936, desde 1939 a 1969 y desde 1970 a 1979 (Desde 1937 a 1938, no he encontrado nada, lógicamente debido a la Guerra Civil). Aunque las primeras referencias explícitas sobre la Teoría de la Relatividad de Einstein son de 1908, en años previos se reflejó en nuestro país la situación de crisis de la física clásica. También se publicaron en España traducciones al español de obras de Poincaré donde se hablaba del principio de relatividad (1906). Igualmente hubo una propuesta original relacionada con la aplicación de las geometrías no euclídeas a la mecánica (1907), que apuntaba aspectos posteriormente relacionados con la relatividad.

En el contexto de un análisis histórico de la ciencia española es donde se justifica la división del período posterior a la Guerra Civil y que he concluido en el año 1969 y no en 1975, con la muerte de Franco y el principio del período democrático, como suele ser habitual. De esta forma, he dedicado el capítulo cuarto desde la Guerra Civil hasta 1969 y el quinto desde 1970 en adelante. Normalmente los historiadores suelen dividir los periodos de análisis respectivos con el fin de la dictadura, pero como justificación de esta división que he realizado a continuación refiero el ejemplo de Sánchez Ron, quien en el tratado “La física en España” (*Revista de Física*, 2003) realiza una división por periodos similar a la aquí establecida. Aunque en principio divide dicha historia en

cinco grandes capítulos, el cuarto dedicado a la era franquista y el quinto al periodo 1975-2003, luego lo trata de forma diferente justificándolo de la siguiente manera:

El final, en 1939, de la Guerra Civil abrió una larga era en la historia de España, que no terminó realmente hasta la muerte del general Franco en 1975. En un sentido estricto, por tanto “era franquista” debería cubrir el período que va desde 1939 a 1975. No es, sin embargo, mi intención cubrir tales años en el presente capítulo. De hecho, mi exposición no tendrá como hilo conductor una secuencia temporal rigurosa. Lo que pretendo es, simplemente, ofrecer algunas de las claves de las estructuras históricas básicas, que ayudan a comprender lo que sucedió con la física en España durante una buena parte de la vigencia del régimen franquista, y, asimismo, preparar el terreno para reconstruir, en el próximo y último capítulo de la presente serie, la situación de los años previos a 1975, sin los cuales no se puede entender cómo la física hispana encaró la transición a la democracia.<sup>2</sup>

De esta forma, Sánchez Ron trata en el siguiente capítulo, el dedicado teóricamente a partir del año 1975, los años previos en los que se crea, en 1969, las Universidades Autónomas y se inicia una política de recuperar científicos españoles en el extranjero, como Severo Ochoa o Nicolás Cabrera, entre otros. Este último dirigirá a partir de 1971 la división de física en la Universidad Autónoma de Madrid, logrando que Lluís Bel, el mayor especialista español en relatividad (aunque francés en cuanto a su desarrollo profesional como investigador), volviera a España para permanecer en dicha universidad dos años, periodo que fue trascendental para el desarrollo en España de físicos relativistas en los primeros años de la década de los setenta.

Otra circunstancia a tener en cuenta es el mayor peso en la investigación de las universidades, respecto a la influencia dominante del CSIC, circunstancia que también se da a finales de la década de los sesenta. En definitiva, en política científica se puede afirmar, aunque con ciertas reservas, que la transición empieza desde el periodo 1968-1971, aunque ciertamente no culminaría hasta la llegada de la democracia y la nueva orientación dada a la investigación a partir de los años ochenta.

Otros factores, ya relacionados con la relatividad, hacen que haya considerado esta división, y son los siguientes:

- La creación en 1968 del *Grupo Interuniversitario de Física Teórica* (GIFT), que aunque se orientó preferentemente hacia la física cuántica, también mostró intereses en relatividad general. Un hecho clave precursor de la creación de este grupo fue la realización, en 1965, del primer encuentro de Física Teórica realizado en nuestro país, en el que estuvieron presentes físicos relativistas españoles asentados en Francia, como Lluís Bel y Alfonso Capella, que realizaron comunicaciones específicas sobre relatividad.
- La muerte de Palacios en 1970, aunque su producción sobre la teoría alternativa a la de Einstein perdió intensidad desde 1967. Su influencia entre los físicos españoles como cabeza de la física española de la dictadura fue reduciéndose

enormemente desde el principio de la década de los sesenta. Además, su rotunda campaña antirrelativista influyó en su desprestigio paulatino, especialmente entre los jóvenes científicos.

- El comienzo desde 1970 de tesis doctorales sobre temas específicos de relatividad.
- La creación de un grupo específico de físicos relativistas españoles, también a principios de los años setenta, en parte debido a la influencia de Lluís Bel gracias a su estancia temporal en nuestro país. Este grupo iniciaría los denominados *Encuentros Relativistas Españoles*, congresos específicos sobre relatividad, a partir de 1976. También fueron protagonistas, desde 1971, de interesantes contribuciones originales sobre relatividad, especialmente mecánica relativista predictiva y teoría cinética de la cosmología, aparecidas en revistas especializadas extranjeras.

---

<sup>2</sup> Sánchez Ron, "La física en España (IV): la era franquista", *Revista Española de Física*, Julio-Agosto 2003, p. 7.

## 1.2. SÍNTESIS DEL CONTENIDO.

A continuación se realiza una breve síntesis del contenido de este trabajo, según la división realizada correspondiente a los diversos capítulos. Antes conviene aclarar que a pesar de intentar seguir un criterio clarificador sobre la división de cada capítulo en sus respectivos apartados, hay temas en los que se mezclan contenidos. Hay muchos ejemplos, como el tratamiento experimental y los posicionamientos antirrelativistas, o las contribuciones de las tres principales figuras de la época de recepción (Terradas, Cabrera y Plans) con temas genéricos, la significación de la visita de Einstein y sus conferencias. Esto se hace especialmente patente en el caso del tratamiento individual, en apartados específicos, de algunos protagonistas de esta historia, cuando luego hay otros apartados sobre temas agrupados por disciplinas (relatividad, cosmología, física cuántica, etc). En líneas generales, no he repetido contenidos, pero sí apunto las relaciones establecidas. Por otra parte, aunque he procurado seguir un orden cronológico en la exposición de los temas, no siempre ha sido posible por la clasificación temática realizada.

### *Capítulo 2. Aproximación a la recepción y divulgación de la relatividad en España.*

Se señalan las características generales de la recepción de la relatividad en España, y posterior divulgación, tanto desde el punto de vista científico (desde una visión global, sin analizar en detalle los trabajos asociados), como aspectos de recepción popular, el tratamiento de la comunidad filosófica o, por absurdo que parezca, cuestiones teológicas asociadas. Aunque estos últimos aspectos no son objetivo de este estudio, se ofrece una visión general, con la idea de apuntar vías de profundización en una posible extensión de este trabajo.

Se realiza una breve síntesis sobre el estado de la física, matemáticas y astronomía españolas en el primer tercio del siglo XX, intentando dar prioridad a aquellos aspectos que posteriormente tuvieron relación en la recepción de la relatividad.

Se detalla el significado de los diferentes niveles de recepción ya indicados. En concreto la recepción científica se enmarca en el proceso de modernización de la ciencia española, proceso del que se apuntan las principales características, como es el inicio de la institucionalización científica, la internacionalización de la ciencia española, el despegue de la física experimental de la mano de Blas Cabrera y en general de las diferentes disciplinas científicas, gracias a la labor realizada por la *Junta de Ampliación de Estudios*, en lo que se ha dado en llamar "Edad de Plata" de la ciencia española. Se señala también la importancia del viaje de Einstein a España para el proceso de recepción de la relatividad, que ya había empezado anteriormente. En este sentido se hace un breve análisis de los procesos equivalentes en los principales países de nuestro entorno.

Se realiza una breve descripción del tratamiento de la relatividad por los filósofos españoles, entre los que cabe destacar la primera referencia de Eugenio D'ors en 1913 sobre la solución a las paradojas de Zenon con la revolución conceptual de la relatividad. Se describen brevemente las aproximaciones de filósofos como Ortega,



García Morente o Zubiri, entre otros, así como el uso del recurso al filósofo español del siglo XIX Balmes, tanto para criticar la relatividad como para defenderla, especialmente entre la comunidad religiosa española. También se realiza un breve repaso al tratamiento por dicha comunidad, con los debates asociados, especialmente por la confusión entre relatividad y relativismo. Por último se da una visión general de la recepción popular de la relatividad.

### *Capítulo 3. La relatividad en la ciencia española (1905-1936).*

Se describen las primeras referencias explícitas sobre la Teoría de la Relatividad de Einstein en España, en 1908 por parte de Blas Cabrera y Esteban Terradas, y cómo su asimilación partió de interpretaciones erróneas o incompletas. Igualmente se tratan referencias anteriores en España (entre 1905 y 1908) sobre el grado de conocimiento de la crisis de la física, así como el conocimiento de las ideas que formaban parte de la génesis inicial de la relatividad, ajena a Einstein, por ejemplo el principio de relatividad de Poincaré. En este sentido, trato en detalle una aportación de Pérez del Pulgar en 1907, que está relacionada con la situación conocida de dicha crisis.

También se tratan aspectos sobre la correcta interpretación dada a la relatividad, en concreto las primeras interpretaciones erróneas del principio de relatividad como exclusivamente válido para los fenómenos electromagnéticos, en vez de para todos los fenómenos, tanto de la mecánica como de la electrodinámica.

Se realiza una visión general de la secuenciación temporal del proceso por parte de la comunidad científica especializada, los físicos, matemáticos y astrónomos. Posteriormente, analizo con detalle las contribuciones de los protagonistas de nuestra historia: Cabrera, Plans y Terradas. De Terradas se justifica el considerarlo introductor de la relatividad en nuestro país, ya que fue el primero que la asimiló de forma correcta y que defendió la necesidad de abandonar la hipótesis del éter. Se analiza en detalle la importancia de una publicación suya de 1912, donde se comprueba dicha aceptación e interpretación correcta de la relatividad.

Cabrera se destaca como ejemplo de evolución del pensamiento sobre la física basada en la hipótesis del éter, pasando por interpretar limitadamente el principio de relatividad sólo para fenómenos electromagnéticos, y acabando por asumir la relatividad en toda su correcta significación y difundirla de manera brillante. Se analizan en detalle sus escritos sobre relatividad, donde se puede comprobar la evolución en su pensamiento. Especial importancia tiene el libro de Cabrera *Principio de relatividad* (1923).

De José María Plans se señala la importancia de su labor como introductor del cálculo diferencial absoluto en España y el estudio por su parte de la implicación de dicha herramienta en el desarrollo de la relatividad general. Se analizan sus contribuciones que aportan alguna originalidad en el tratamiento de la relatividad, en concreto su trabajo de 1919 *Nociones Fundamentales de Mecánica Relativista*, publicado en 1921, del que se detallan sus aportaciones más interesantes como novedad en España.

Basándome siempre en las fuentes originales, se realiza un repaso por el tratamiento de la relatividad por otros físicos, matemáticos y astrónomos españoles.

Se hace hincapié en la importancia del viaje de Einstein tanto por el impacto social como para los propios científicos españoles involucrados en la relatividad. Priorizo la relación de debates científicos, con motivo de las diversas conferencias impartidas por Einstein en España.

Igualmente, analizo las diferentes contribuciones más o menos originales, como la de Plans ya citada, su dirección de trabajos a discípulos suyos, destacando el libro de Pedro Puig Adam *Resolución de algunos problemas elementales en mecánica relativista restringida*. En este sentido cabe destacar un caso menos conocido, el de la relatividad elíptica de José Isaac Corral.

Uno de los apartados más interesantes es el de los posicionamientos antirrelativistas, o ambiguos, destacando el caso del astrónomo Comas i Sola, así como los debates en los que, partiendo en algunos casos de la aceptación básica de la relatividad, se cuestionaban principios de la teoría. Se resumen las características generales de las resistencias a asumir la relatividad, basadas a veces en equívocos, que se concretan. En cuanto a este tipo de posicionamientos contrarios, se detallan propuestas alternativas, como las de Pérez del Pulgar o Emilio Herrera, así como los debates relacionados con las pruebas experimentales.

#### *Capítulo 4. El tratamiento de la relatividad en la ciencia española de 1939 a 1969.*

Se realiza un breve repaso a la situación de la ciencia española de la época, destacando el impacto de la Guerra Civil en la consiguiente destrucción del período de esplendor científico anterior, el exilio de muchos de los mejores científicos españoles, los intentos de recuperación en el marco de la época conocida como el *desarrollismo* y el paulatino desarrollo en nuestro país de la Física Teórica.

Se incluye una síntesis de los diferentes tipos de publicaciones acerca de la relatividad en la época, concretándose aquellas que son libros completos. También, según los temas tratados en los siguientes apartados, se ofrece una relación de los autores que han intervenido en mayor o menor grado con contribuciones propias.

De forma similar a lo realizado en el capítulo tercero, se ha dividido el tratamiento de la relatividad en tres grandes temas: la relatividad como teoría física, la visión matemática y aspectos relacionados con la astronomía. En este capítulo la primera parte abarca la mayoría del contenido, aunque conviene aclarar que muchas veces la frontera entre estas disciplinas respecto a la relatividad no es rotunda, pero aun así he creído conveniente realizar esta división por clarificar la exposición.

La parte sobre la relatividad como teoría física se ha dividido en varios apartados: el primero en el que se tratan todos los trabajos encontrados, salvo los que se han agrupado en apartados específicos por la extensión asociada, lo que hacía más clarificador dedicarles epígrafes individuales. De esta forma trato individualmente en sus respectivos apartados los siguientes temas: la teoría de Julio Palacios, el grupo de

físicos en Francia (Bel, Capella y Mas), los trabajos de Darío Maravall, otras corrientes antirrelativistas y los debates en torno a la relatividad.

El apartado 4.3., “La relatividad como teoría física”, se ha dividido a su vez en cinco epígrafes, según los aspectos tratados por los científicos españoles: aspectos históricos, teorías especial y general de la relatividad, aspectos cosmológicos, física cuántica relativista y teorías unitarias. El primer aspecto importante para destacar es la gran cantidad de científicos españoles que se aproximaron a la relatividad en los años de la dictadura y el que casi todos ellos la asumieran sin crítica, lo que pone de manifiesto que el caso de Palacios fue una excepción. A pesar de esta situación, en realidad hasta 1971 no hubo en España una corriente investigadora sobre relatividad, salvo algunas publicaciones que marcan un cierto grado de originalidad a nivel individual. Esta situación hay que enmarcarla en la prioridad de la época hacia la ciencia aplicada y en concreto hacia la física nuclear. Pero si casi no hubo novedades investigadoras sobre relatividad en España, sí hubo bastantes casos de tratamiento original sobre la misma, bien por interpretación de novedades conocidas del extranjero, bien por nuevos puntos de vista en cuanto al tratamiento teórico. En este sentido, he analizado con detalle estas novedades que suponen un tratamiento original respecto de los anteriormente publicado en España sobre relatividad.

En cuanto al tratamiento de algunos científicos españoles sobre el origen y posterior desarrollo de la relatividad, aunque en realidad no hubo ninguna obra completa de carácter histórico (habría que esperar hasta 1983 con el excelente libro de Sánchez Ron), sí hubo bastantes referencias interesantes, bien en artículos sueltos, bien en libros genéricos sobre relatividad. Cabe destacar la obra de Esteban Terradas y Ramón Ortiz Fornaguera, *Relatividad* (1952), en la que aparecen multitud de citas de tipo histórico que analizo en detalle. También son interesantes los escritos de Iñiguez Almech, Manuel Lucini, Antonio Romaña y de Enrique Gutiérrez, este último sobre el origen de la electrodinámica cuántica, teoría basada en la aplicación de la relatividad a la mecánica cuántica.

Sobre las teorías especial y general de la relatividad, el libro citado de Terradas y Ortiz Fornaguera aporta bastantes novedades sobre lo tratado anteriormente en España. De hecho, en mi opinión, esta obra supone un hito, junto con la de Blas Cabrera de 1923, sobre la literatura relativista en España. También hay que destacar los trabajos teóricos de Ortiz Fornaguera sobre principios conservativos aplicables en relatividad general, de Fernández Ferrer y Eduardo de Rafael, Luis Boya y J.A. Azcárraga, y en fin, de otros muchos que veremos en detalle.

Sobre cuestiones cosmológicas también hubo interesantes escritos, destacando el libro de Antonio Romaña, *Idea sobre el estado actual de la cosmología* (1966).

En cuanto a física cuántica relativista, se indica alguna obra completa interesante, como la de Luis María Garrido Arilla. Se analizan artículos de investigación de Ramón Ortiz, Foz, Garrido, Pedro Pascual, Alberto Galindo, Francisco J. Ynduráin y varios más. Los diferentes temas abarcados van desde la mecánica cuántica relativista, electrodinámica cuántica, teoría cuántica de campos, disciplinas en las que la relatividad especial forma parte esencial de dichas teorías.

Sobre teorías unitarias de campo una vez más el libro de Terradas y Ortiz refleja espléndidamente la situación conocida. Además hay que destacar dos artículos de Jesús María Tharrats al respecto.

En el apartado 4.4 se resume la importancia de la figura de Julio Palacios en la Física española de la época de Franco. Debido a la gran extensión de la obra de Palacios sobre relatividad, que se prolongó durante muchos años, a veces con contradicciones internas, considero necesario hacer una propuesta sintética de la postura alternativa de Palacios. En este apartado se pretende mostrar una visión de conjunto, para facilitar el seguimiento en los siguientes apartados.

Se dedica también un epígrafe específico para una revisión general de las publicaciones de Palacios sobre Relatividad, tanto las directa como las indirectamente relacionadas, donde se comprueba la evolución del pensamiento de Palacios al respecto, y se señalan las principales contribuciones en cuanto a presentación de novedades en la evolución del pensamiento de Palacios sobre la relatividad, que permitirá posteriormente sistematizar los principales temas clave.

En el epígrafe 4.4.3 se muestran los temas clave del pensamiento de Palacios en su nueva teoría de la relatividad. Realmente éste es el cuerpo principal de este apartado, donde se analizan en detalle las ideas de Palacios al respecto: las nuevas ecuaciones de transformación entre sistemas de referencia inerciales, la paradoja de los relojes, el espacio y la geometría, las constantes de la Naturaleza, la teoría de la Gravitación, la dinámica relativista, el intento de recuperación de las acciones a distancia y el éter, la influencia del Análisis Dimensional en su posicionamiento, etc.

En el epígrafe siguiente se analizan los motivos de Palacios para su rechazo a la relatividad, basados en su conocida defensa del "realismo ingenuo", así como los debates en que se vio inmerso, y su paulatina radicalización, en lo que se ha dado en llamar la "cruzada" antirrelativista de Palacios, donde destaca su búsqueda de apoyos entre científicos y otras cuestiones ajenas al terreno propiamente científico.

El apartado 4.5 se dedica al caso de los físicos licenciados por la Universidad de Barcelona que recibieron becas para realizar estudios de doctorado en Francia. De este grupo los que trabajaron sobre relatividad general fueron Lluís Bel, Alfonso Capella y Lluís Mas. Lluís Bel tendría posteriormente, a partir de 1970, un papel fundamental en la creación de un grupo de investigadores españoles sobre relatividad. En sus años de investigación en Francia destacaron sus trabajos sobre radiación gravitacional y sobre un nuevo tensor usado en relatividad general, con un gran número de publicaciones sobre estos temas. Alfonso Capella trabajó sobre cuantificación del campo gravitatorio y teorías lineales de la gravitación. Además, Bel y Capella participaron en el primer congreso de Física Teórica realizado en España en 1965, presentando sus principales aportaciones al respecto. Por último Lluís Mas, trabajó en el marco de la relatividad general sobre el problema clásico de la mecánica celeste de los tres cuerpos, así como nuevas métricas usadas en relatividad. Todo ello se trata con detenimiento en este apartado.

El siguiente apartado se dedica a la gran diversidad de publicaciones de Darío Maravall en diferentes revistas españolas, que suponen intentos de aportar

originalidad, y no meras síntesis, sobre diversos aspectos de relatividad general. Aunque no tuvo eco internacional, destaca su propuesta sobre la cuantificación del espacio y el tiempo con implicaciones en modelos cosmológicos.

A continuación se realiza un repaso por los diferentes autores, aparte de Palacios, que mantuvieron posturas ambiguas o antirrelativistas, así como a los debates habidos en nuestro país sobre relatividad en esos años, la mayoría sobre la teoría alternativa de Palacios. Entre estos debates cabe destacar el que mantuvieron Ortiz Fornaguera y Palacios en páginas de la Academia de Ciencias de Madrid, y las reflexiones de Ruiz de Gopegui sobre las precipitadas interpretaciones de Palacios acerca de los resultados de un experimento, el de Kantor, que parecían refutar la relatividad.

El apartado 4.9 se dedica a los aspectos matemáticos sobre relatividad, entre los que destaca el tratamiento de cuestiones dimensionales asociadas. Ciertamente este problema es frontera entre física y matemáticas, pero por el hecho de que fuera analizado por matemáticos como Ricardo San Juan, me ha parecido más conveniente plasmarlo aquí. También se analizan otras aproximaciones, como las de Vidal Abascal, pero, sin duda, la contribución más interesante es la de Pedro L. García Pérez sobre geometría simpléctica en teoría de campos, de la que analizo en detalle los aspectos relacionados con la relatividad.

En cuanto a la astronomía española, aunque no hubo trabajos originales de investigación relacionados con la relatividad, sí se realizaron multitud de artículos en los que aparecían dichas relaciones, asumiendo la relatividad como disciplina consolidada. En este sentido cabe resaltar los trabajos de Enrique Gullón sobre estrellas “enanas blancas”, los escritos de divulgación de Antonio Paluzié, Baltá Elías, Codina Vidal o Ballber entre otros. Por último se analiza la impresionante información suministrada por Antonio Romaña sobre las observaciones astronómicas relacionadas con los diferentes modelos relativistas del universo.

Se trata también en un apartado específico las colaboraciones de científicos extranjeros en nuestro país, mostrando la importancia de los manuales de física en la formación universitaria española, así como las colaboraciones de Fantappiè y Arccidiacono.

Un capítulo muy importante, a mi juicio, es el dedicado a la labor de los científicos españoles exiliados. Entre estos destacan los trabajos originales de Martínez-Risco en Francia sobre óptica relativista y los escritos sobre teorías unitarias del matemático Luis Antonio Santaló.

Por último, me ha parecido conveniente realizar una síntesis sobre los planes de estudios universitarios en lo concerniente a la relatividad, basándome en los anuarios de las diferentes Facultades de Ciencias y en los planes establecidos por decreto y reflejados en los correspondientes BOE's.

*Capítulo 5. La relatividad como nuevo campo de investigación en España (1970-1979).*

Se analizan los artículos aparecidos a partir de 1970, así como tesis doctorales, en lo que se puede considerar el comienzo de la labor investigadora sobre relatividad en España, con la creación de grupos específicos de físicos relativistas. He considerado tres grandes temas genéricos, la Mecánica Relativista Predictiva, la Teoría Cinética de la Cosmología y la Termodinámica Relativista y, por último, aspectos genéricos de relatividad especial y general, en concreto sobre soluciones a las ecuaciones de campo, métricas usadas en relatividad general y teorías unitarias. En los dos primeros destaca, como ya he indicado anteriormente, la dirección de Lluís Bel, aunque a su vuelta a Francia siguió con su labor de apoyo a los físicos relativistas españoles, como veremos. Entre los distintos científicos que trabajaron sobre relatividad están Jesús Martín, Ramón Lapiedra, Lluís Mas, Enrique Álvarez, José Manuel Sánchez Ron, Gracia Bondía, Goded Echeverría, Joaquín Olivert, etc, sobre los que se estudian sus principales trabajos. En el último apartado se destaca la importancia de *los Encuentros Relativistas Españoles* y de las primeras *Asambleas Nacionales de Astronomía y Astrofísica*, así como unas jornadas en la Academia de Ciencias de Madrid sobre las teorías de Einstein.

Es importante resaltar que en este capítulo, a diferencia de lo realizado anteriormente, no se ha hecho una revisión sistemática de todo lo publicado por los científicos españoles en este período, ni un análisis detallado de los trabajos citados. Simplemente se reseña una muestra, que considero suficientemente significativa, para demostrar el nuevo rumbo en el tratamiento de la relatividad en España, con el inicio de una labor investigadora de forma dirigida mediante la creación de grupos específicos de trabajo y no ya como autores aislados. También en este capítulo me refiero a las contribuciones específicamente científicas publicadas en revistas especializadas, sin tratar artículos de divulgación científica, como en los capítulos anteriores.

*Capítulo 6. Conclusiones.* En el último apartado expongo brevemente las conclusiones de cada una de las partes por épocas, destacando las aportaciones más interesantes por parte de científicos españoles. También realizo algunas consideraciones personales sobre diversos aspectos tratados en el cuerpo del texto, consideraciones que creo pueden sugerir propuestas interesantes para el debate sobre el tema que nos ocupa.

*Bibliografía.* La relación de referencias consultadas se divide en dos partes, las que suponen fuentes originales o bibliografía primaria por parte de científicos españoles, desde 1905 hasta 1979 (con alguna excepción hasta principios de los años ochenta por su relación directa con temas tratados). Se ha proporcionado una relación ordenada por autor y la misma por orden cronológico, lo que considero puede ayudar a obtener una visión histórica del tratamiento de la relatividad en España. La segunda parte es la relación de referencias o bibliografía secundaria sobre relatividad, historia de la relatividad, ciencia española, recepción de la relatividad en España, etc.



## **2. APROXIMACIÓN A LA RECEPCIÓN Y DIVULGACIÓN DE LA RELATIVIDAD EN ESPAÑA**

Como he indicado en la introducción, en este apartado muestro una visión general de la recepción y posterior divulgación de la relatividad en España, tanto desde el punto de vista científico (enmarcándolo en el proceso histórico de modernización de la Física y Matemáticas españolas de principios del siglo XX), como filosófico y de difusión popular, estableciendo la secuencia temporal del proceso y características relevantes.

Desde un punto de vista global, la recepción de la relatividad en España abarcaría varios niveles, que pueden entremezclarse en algunos casos, sin una separación clara entre ellos. Estos niveles de recepción están asociados a unos tipos de textos característicos. Podemos distinguir los siguientes niveles de recepción de la relatividad en España:

- Recepción por la comunidad científica especializada: físicos, matemáticos y astrónomos. El tipo de textos característicos son artículos en revistas especializadas y publicaciones en forma de libros completos realizadas por científicos.
- Recepción por la comunidad técnico-científica general, como ingenieros o profesores. A este nivel corresponden tanto textos de divulgación, mediante artículos en revistas culturales y periódicos, como libros completos de carácter divulgativo.
- Recepción en el pensamiento filosófico español. Se corresponde con textos en revistas específicas de la disciplina y libros de orientación filosófica, así como posicionamientos de los filósofos representativos de la época.
- Recepción en la comunidad eclesiástica española. Se asocia con textos en revistas específicas de carácter religioso o propias de órdenes eclesiásticas y libros de autores eclesiásticos o de orientación teológica.
- Recepción popular. Se corresponde con el impacto en medios de comunicación y el público en general no asociado a una élite intelectual. Aquí entraría tanto la recepción popular de la relatividad como la difusión de la figura de Einstein como mito popular. Son textos en medios de difusión generales, prensa diaria y discursos en entidades sociales. También se considera el impacto o influencia en corrientes artísticas.



## 2.1. EL CONTEXTO DE LA MODERNIZACIÓN CIENTÍFICA DE ESPAÑA.

El proceso de recepción de la relatividad en España se produce en el primer tercio del siglo XX, dentro del periodo denominado "Edad de Plata", una de las consecuencias del intento de modernización de España debido a la influencia de la corriente *regeneracionista* de la época. Este auge de la ciencia española produjo una de las etapas más importantes en nuestra historia reciente, ya no sólo desde el punto de vista científico, sino también cultural, por el esplendor intelectual que supuso dicho desarrollo.<sup>1</sup>

Un factor clave de este periodo de modernización en España fue el comienzo de la institucionalización de la ciencia especializada con la creación de diferentes sociedades científicas y organismos institucionales: *La Sociedad Española de Física y Química* (SEFQ) en 1903, la *Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas* (JAE) en 1907, la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias* (AEPC) en 1908 con la consiguiente organización periódica de congresos, el *Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales* en 1910 y la *Sociedad Matemática Española* (SME)<sup>2</sup> en 1913. Aunque las Academias de Ciencias ya existían anteriormente (la de Madrid se creó en 1879, la de Barcelona existía desde el Siglo XVIII, pero no era específica de ciencias), tenían un carácter más de divulgación que de promoción de la investigación teórica o experimental.

Durante el siglo XIX la física experimental en España era prácticamente inexistente, debiendo esperar a la creación de la JAE en 1907 para considerar el comienzo real como disciplina científica. La situación de la matemática era algo mejor. Se dieron casos como los de Echegaray, Eduardo Torroja o Zoel García de Galdeano que realizaron una labor importante de difusión, aunque sin aportaciones originales. Incluso hubo alguna aproximación a las geometrías no euclídeas, como la de Ventura Reyes Prosper. En cuanto a técnicas experimentales, los laboratorios técnicos estaban asociados a escuelas de ingenieros civiles y militares. La única excepción respecto a realización de trabajos originales fue en el campo de la astronomía, donde la existencia de los observatorios de San Fernando y de Madrid permitía el trabajo experimental asociado a la disciplina. Esta relativa buena situación de los astrónomos españoles respecto a los físicos y matemáticos haría que algunos de ellos participaran de forma relevante en la discusión de la relatividad en España, aun sin ser los protagonistas principales del proceso de recepción.

Añadida a esta situación estaba la deficiente organización de estudios oficiales. Hasta 1857 no se crea una facultad de ciencias con sección propia en Físico-

---

<sup>1</sup> Existe amplia bibliografía sobre la ciencia española de la época. Véase Sánchez Ron, *Cinzel, martillo y piedra. Historia de la ciencia en España (Siglos XIX y XX)*, Taurus, Madrid, 1999; Luis Maldonado y Armando García Gonzalez, *La España de la técnica y la ciencia*, Madrid, 2002; Sánchez Ron, "Centenario de la RSEF 1903-2003. La Física en España (I) y (II)", *Revista Española de Física*, Enero-Feb. 2003, p 5-9; Marzo- Abril 2003, p 8-14; Elena Ausejo, *Por la ciencia y por la patria: la institucionalización científica en España en el primer tercio del Siglo XX. La Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, siglo XXI, Madrid, 1993.

matemáticas (anteriormente las enseñanzas de ciencias eran secciones de las facultades de filosofía). Las otras secciones eran de Química y de Naturales. Como vemos, ni siquiera había secciones independientes de Física y de Matemáticas. Respecto a la labor docente en estas disciplinas también debe considerarse las escuelas de ingenieros. Era muy frecuente que los estudiantes formados en ciencias físico-matemáticas fuesen también ingenieros, tanto civiles como militares. De entre todos sobresalió el más importante físico-matemático<sup>3</sup> español del siglo XIX, José Echegaray, que aunque tampoco realizó contribuciones originales, sí fue el introductor de novedades matemáticas avanzadas producidas en el extranjero. Su labor docente fue decisiva, publicando libros de matemáticas excelentes y una obra monumental, sus famosas *Conferencias sobre física matemática*. Más tarde, otro ingeniero y también físico-matemático, Esteban Terradas, sería uno de los protagonistas de la introducción de la relatividad en nuestro país. Además, un número relevante de ingenieros tuvo un papel destacado en la difusión popular de la relatividad en España, salvo precisamente Echegaray, que murió en 1916 y se mantuvo fiel a la física en la que se formó.

En definitiva, es en los comienzos del siglo XX cuando se produce realmente el cambio de la ciencia en España.<sup>4</sup> Después del desastre de 1898, con el impacto político y social por la pérdida de las colonias, dio comienzo la denominada corriente “regeneracionista” que marcó el intento de modernización de España a todos los niveles. Conscientes del problema del atraso científico español se propugnó la reforma de las estructuras educativas concluyendo en 1900 con la creación de un ministerio específico con competencias en educación, el de Instrucción Pública.

Un factor clave de este periodo de modernización fue la creación en 1907 de la *Junta para Ampliación de Estudios* (entidad basada en el “regeneracionismo” y el espíritu de la *Institución Libre de Enseñanza*), que permitió el comienzo de la investigación experimental y la necesaria internacionalización de la ciencia española, tanto por la asignación de becas para estudios y trabajos en el extranjero como por la creciente visita a España de científicos destacados en sus respectivas disciplinas. En este

---

<sup>2</sup> Tanto la *Soc. Esp. Física y Quím.* como la *Soc. Matemática Esp.* pasaron a anteponer el prefijo de “Real” que se eliminó durante la II República y recuperó al finalizar la Guerra Civil. He optado por mantener el acrónimo inicial sin el prefijo.

<sup>3</sup> En esta época, más que físicos o matemáticos hay que hablar de físico-matemáticos ya que la Física como disciplina independiente, en cuanto a física experimental, no empezó realmente hasta el S. XX. La mayoría de los profesionales eran tanto físicos como matemáticos, incluidos los ingenieros, y como tal se estudiaban integradas en los planes de estudio de las Facultades de Ciencias. En cuanto a labor personal posterior a la formación académica sí se puede hablar por un lado de matemáticos y por otro de físico-matemáticos, pero en el XIX físicos como tales no existieron en España.

<sup>4</sup> Como dice JM Sánchez Ron (en “Cien Años de Física. Centenario de la RSEF 1903-2003”, *Revista de Española de Física*, Abril 2003) “en principio la historia no distingue entre siglos; hablar del XIX o del XX, sobre todo de finales de uno y comienzos del otro, no es más que una clasificación humana, arbitraria”. Se suele decir en historia política que el siglo XX empieza con la Primera Guerra Mundial, pues bien, en Física creo que se puede afirmar que el siglo XX comienza con dos fechas clave que dan origen a la Física moderna, la Física del siglo XX, 1900 por el postulado de Planck de la radiación del cuerpo negro (y la consiguiente implicación en la génesis de la Mecánica Cuántica), y 1905 con la publicación de los artículos de Einstein “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento” (relatividad) y el artículo sobre el efecto fotoeléctrico. En España, el año 1898 se suele marcar con el comienzo del siglo XX por las implicaciones que tuvo. Respecto a la Física, además en el caso español también hay unas fecha coincidentes aproximadamente en el tiempo que marcaron el desarrollo de la Física española, 1903 con la creación de la *Soc. Esp. Física y Quím.* y 1907 con la creación de la *JAE*. Por lo tanto, creo que se puede afirmar que en Física y en España, el siglo XX dio comienzo en su primera década.

marco indicado de internacionalización se organizó el viaje de Einstein a España en 1923. Además, para este desarrollo científico la *Junta* creó diversos centros de investigación asociados a las correspondientes disciplinas científicas. Este aspecto de la promoción de investigadores en el extranjero fue fundamental para el desarrollo de los científicos españoles, tanto para acabar con el aislamiento internacional como para colaborar en trabajos de investigación y mejorar de forma determinante su formación. De hecho, la invitación a Einstein para viajar a España vino gracias a las relaciones entre científicos que sin duda se pudieron producir por dicha política de becas. Además, los primeros contactos con la relatividad y con el propio Einstein se dieron con motivos de estas estancias en el extranjero subvencionadas por la JAE .

Bajo el auspicio de la JAE, se creó en 1910 *el Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales* y, a su vez, dependiendo de este Instituto, en el mismo año el *Laboratorio de Investigaciones Físicas*, (dirigido por Blas Cabrera), y *el Laboratorio y Seminario Matemático* en 1915 (dirigido por Rey Pastor). Estos laboratorios centrarían los grupos de investigación en España dedicados a la Física y Matemática. Posteriormente veremos que el grupo de matemáticos asociados a este *Laboratorio y Seminario Matemático* fue el centro de recepción oficial de la relatividad en España y de Einstein en su viaje a Madrid. Como veremos más adelante, Blas Cabrera y Rey Pastor fueron, respectivamente, las figuras destacadas de la física y matemática españolas.

En estos centros, denominados laboratorios y ubicados en Madrid, fue donde trabajaron los mejores investigadores en física y matemáticas. De entre todos ellos, que además tendrían algún papel en la recepción de la relatividad, destacan en física: Blas Cabrera, Miguel Catalán, Julio Palacios y Manuel Martínez-Risco, y en matemáticas: Rey Pastor, José María Plans, Tomas Rodríguez Bachiller, Lorente de No y Pedro Puig Adam.

La *Junta*, a través de estos laboratorios, quiso promocionar la ciencia teórica, sin prioridad en principio por el desarrollo tecnológico. Esta faceta técnica ya estaba representada por los laboratorios de escuelas de ingenieros y sobre todo por el laboratorio de Automática dirigido por la principal figura española en esta disciplina, Leonardo Torres Quevedo.

Fuera de Madrid, la innovación asociada a instituciones vino de la mano de la renovación de la Academia de Ciencias de Barcelona, con la construcción del *Observatorio Astronómico Fabra* y la creación del *Institut d'Estudis Catalans*, que también tuvo un papel determinante en la difusión de la nueva física. Aunque este Instituto tenía su prioridad en las ciencias biomédicas, contribuyó también al desarrollo de la física matemática, principalmente de la mano de Esteban Terradas (físico, matemático e ingeniero), que antes de su dedicación a la ingeniería con responsabilidades de gestión, trabajó intensamente en aspectos teóricos con aportaciones prometedoras. Terradas tuvo una etapa inicial dedicada a la física y matemática teóricas que se destacó por su precocidad y brillantez. Posteriormente ejerció prioritariamente como ingeniero, limitándose a la ciencia teórica en su faceta de difusión, especialmente la relatividad.

Otro factor de institucionalización de la ciencia, fundamental para la física y matemática españolas fue, como hemos visto, la creación de sociedades científicas

propias de sus disciplinas, la *Sociedad Española de Física y Química* y la *Sociedad Matemática Española*. Estas sociedades no tenían el carácter restringido de acceso, como en la Academies de Ciencias, sino que estaban abiertas a todos los profesionales interesados en las actividades que desarrollaban. Las dos tuvieron su medio propio de expresión y difusión asociado, que fueron fundamentales en el desarrollo de ambas disciplinas en España. Son los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química* y la *Revista Matemática Española*.

La principal tarea de la *Soc. Esp. Física y Quim.* fue la publicación de los *Anales*. La parte principal de la revista se basaba en los trabajos de física y química que anteriormente a su publicación se presentaban en las reuniones ordinarias de la Sociedad. Pero en lo que concierne al objeto de esta tesis, debido a los escasos trabajos originales sobre relatividad, y en relación a la cuestión de la difusión de nuevas teorías, tiene bastante importancia la parte de la revista que trataba el intercambio de publicaciones con revistas extranjeras. De hecho, en palabras de Julio Palacios esto era “un hecho de la mayor trascendencia para la Sociedad”. Como parte de este intercambio aparecieron las “Notas Alemanas de Física y Química” que tuvieron una significación importante respecto al tratamiento de la *nueva física*. Posteriormente se añadió al contenido original sobre memorias y notas originales la sección de extractos, donde aparecían revisiones de artículos de revistas extranjeras. Por lo tanto es claro que la *Soc. Esp. Física y Quim.* realizó un intento por superar el aislamiento científico español con la difusión de los trabajos de científicos extranjeros. Se acordó que en cada número de los *Anales* se indicasen las revistas recibidas, los artículos más interesantes que éstas incluyeran y, según los casos, un extracto.

En el periodo de 1903 a 1937 los *Anales* de la *Soc. Esp. Física y Quim.* fue suficientemente representativa de las investigaciones españolas en física, ya que era prácticamente la única publicación sobre esta disciplina, salvo quizá los trabajos publicados por las Academies de Ciencias de Madrid y Barcelona. Había varias revistas científicas relacionadas con física pero no era significativa su contribución ni cuantitativa ni cualitativamente<sup>5</sup>. En cambio, en el campo de la Astronomía, los *Anales* no era la más significativa ya que en esta disciplina había varias publicaciones que reflejaban la actividad desarrollada. Como ejemplo están la *Revista de la Sociedad Astronómica* y el *Boletín del Observatorio Fabra*.

En la época en estudio los *Anales* era el principal medio de expresión utilizado por los físicos españoles. En este sentido es interesante adelantar el caso de José María Plans, que publicó sus dos obras más famosas sobre relatividad en la Academia de Ciencias madrileña, pero el único trabajo de contribución original sobre relatividad lo publicó en *Anales*. Relacionado con este aspecto sobre publicaciones, hay que constatar la escasa tendencia a publicar en el extranjero, aunque iría aumentando paulatinamente.

Había una gran preocupación porque en los *Anales* se produjeran artículos originales de física pero que también sirvieran de difusión de las nuevas aportaciones de la

---

<sup>5</sup> Según opinión de Manuel Varela en *La Física en España a través de los Anales de la Sociedad Española de Física y Química 1903-1965*, Universidad de Murcia, 2001.

Física. La preocupación indicada es claramente un reflejo de que la ciencia española estaba al tanto de las novedades, especialmente en magnetismo, espectroscopia y, en menor medida, en relatividad. En definitiva, aunque España no lideraba la contribución científica original, se mantuvo al mismo nivel del resto de países europeos en cuanto a la recepción y asimilación de las novedades y debates que implicaba. Esto se comprobó perfectamente con los intentos de unificación de teoría de campos en los años 20 por parte de Weyl y Eddington principalmente, en los que en las revistas se reseñaban y trataban aspectos que estaban en discusión en esos momentos en Europa.

La física fue probablemente la disciplina que más progresó en España en el primer tercio del siglo XX. No en vano se consiguió por primera vez financiación privada extranjera, de la fundación *Rockefeller*, para fundar en 1932 el *Instituto Nacional de Física y Química*, sucesor del *Laboratorio de Investigaciones Físicas*. La figura clave de este desarrollo fue Blas Cabrera<sup>6</sup>, conocido como “el padre” de la Física española experimental y primer físico español de proyección internacional, tanto por sus contactos como por sus publicaciones, que fueron reconocidas por la comunidad científica internacional. También publicó en revistas extranjeras y estaba considerado una autoridad mundial en magnetismo. En diez años, de 1902 a 1912, publicó y trabajó sobre multitud de campos de la Física, siempre con un carácter experimental en sus trabajos. Participó en los congresos Solvay de Física, junto con autoridades mundiales como Curie, Einstein, Langevin o Bohr entre otros, siendo también secretario del Comité Internacional de Pesos y Medidas.

En el *Laboratorio de Investigaciones Físicas* se crearon grupos específicos de diversas disciplinas físicas, destacando el de espectroscopia. Los integrantes de estos grupos inicialmente viajaron a universidades europeas, gracias a las becas de la *Junta de Ampliación de Estudios*. Ejemplos son Martínez Risco y Julio Palacios a Leiden (una de las Universidades más prestigiosas) para trabajar con Peter Zeeman, Miguel Catalán a Londres para trabajar en espectroscopia, Arturo Duperier a Zurich y el propio Cabrera para colaborar con Weiss en Zurich sobre magnetismo. Después llegaría el mayor éxito internacional de la Física española con el descubrimiento de los multipletes por Catalán, basado en el uso de la espectroscopia, aspecto de física experimental en que más se desarrolló la física española.

Aunque a principios de siglo la matemática española estaba mejor situada que la física, no tuvo un desarrollo tan espectacular. El grupo principal también estaba asociado con el *Laboratorio y Seminario Matemático* dependiente de la JAE. Su director era Rey Pastor que, como en el caso de Cabrera para la física, también era la principal figura de la matemática española. Rey Pastor trabajó sobre temas avanzados de la matemática contemporánea como geometría proyectiva y teoría de grupos. También hizo una labor importante en seleccionar temas de investigación para dirigir a discípulos suyos y en crear, en torno al *Laboratorio Matemático*, un grupo puntero de

---

<sup>6</sup> Información extensa sobre la vida y obras de Cabrera se puede seguir en Cabrera Navarro, Cabrera Sánchez-Real, González de Posada, *Blas Cabrera, vida y obra de un científico*, Madrid, 1995; González de Posada, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad*, Madrid, 1995; Ana Romero, *Cabrera, Moles, Rey Pastor. La europeización de la Ciencia*, Madrid, 2002.

matemáticos como Puig Adam, Lorente de No, Rodríguez Bachiller, Roberto Araujo, José María Orts y Luis Santaló, entre otros. Este último fue el más distinguido, siendo también reconocido internacionalmente como una autoridad en geometría diferencial y aportando posteriormente novedades en geometría integral.

Un aspecto importante, que influyó de forma determinante en la historia de la relatividad en España, fue que muchos de los matemáticos que estudiaron en el extranjero, pensionados por la *Junta*, lo hicieron en Italia, entrando en contacto con Levi Civita, uno de los creadores de las herramientas matemáticas necesarias para la relatividad general. Son los casos de Lorente de No y Puig Adam, que trabajarían posteriormente sobre relatividad. También mantuvo este contacto otro de los mejores matemáticos españoles, José Maria Plans, aunque inicialmente no estaba en el grupo de Rey Pastor. De hecho, esta influencia italiana, en cuyo país se desarrollaba el cálculo diferencial absoluto y el cálculo tensorial que sería fundamental para el progreso la relatividad general, fue determinante para que el grupo de Rey Pastor fuera el principal foco institucional, a través de la *Sociedad Matemática*, de la recepción de la relatividad en España. Los otros "núcleos" de recepción fueron de carácter individual, Cabrera y Terradas.

En cuanto a la astronomía española, también mejoró ostensiblemente con el nuevo siglo. Ya existían los observatorios de Madrid y San Fernando. Se construyeron cuatro nuevos observatorios, el de Fabra en Barcelona, el del Ebro en Tortosa, el de la Cartuja en Granada y el de la Universidad de Valencia. Se prepararon concienzudamente, con colaboración internacional, observaciones de los diferentes eclipses de sol que se produjeron en España en la primera década<sup>7</sup>. El astrónomo más prestigioso era el director del observatorio Fabra, José Comas i Sola que publicó trabajos originales sobre observaciones de Marte. Se significó también por su vehemente posición antirrelativista. Otros astrónomos más jóvenes del observatorio de Madrid tenían una mayor orientación teórica, destacando Antonio Vela y Pedro Carrasco, que ayudó a difundir la relatividad en España. Otro ejemplo de difusión por parte de astrónomos españoles fue Luis Rodés, director del observatorio del Ebro.

Para acabar esta breve exposición sobre la Física y Matemáticas españolas de principios de Siglo creo conveniente reflejar algunos acontecimientos relacionados con la figura de Einstein, que son reflejo de las condiciones de evolución y modernización, por un lado, de la ciencia española y, por otro, del sempiterno debate sobre la misma.

El más representativo fue la invitación a Einstein para visitar nuestro país. Einstein viajó a Barcelona, Madrid y Zaragoza en Febrero y Marzo de 1923, invitado por el *Institut d'Estudis Catalans* y la *Junta para Ampliación de Estudios*. Se organizaron conferencias impartidas por Einstein, actos académicos y protocolarios (Academia de Ciencias de Madrid con el Rey Alfonso XIII), participando la élite de la ciencia española, incluyendo debates científicos rigurosos y personalidades significativas de la cultura, como Ortega y Gasset. Hubo una importante difusión en la prensa y revistas

---

<sup>7</sup> En las Actas de los Congresos de la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias* hay bastantes contribuciones de este tipo durante estos años. Véase Elena Ausejo, *Por la Ciencia y por la Patria: la institucionalización científica en España en el primer tercio del Siglo XX. La Asociación Española Para el Progreso de las Ciencias*, siglo XXI Editores, Madrid, 1993.

culturales, así como actos paralelos con variedad de conferenciantes. Todo este proceso de difusión tuvo unas características similares a las de otros países, como Francia e Italia.

Otro suceso importante en el proceso de modernización de la ciencia española en relación con la figura de Einstein, fue el ofrecimiento de una cátedra extraordinaria para él y la creación del Instituto Einstein. Como sabemos, no se llevó a cabo, pero es un ejemplo significativo de la nueva situación de la ciencia española de la época, que estaba en disposición de realizar un ofrecimiento así, sin que en ningún momento fuera una idea descabellada, ya que Einstein se planteó seriamente la propuesta.<sup>8</sup> Una oferta menos institucional y elaborada, fue el ofrecimiento a Einstein, durante su visita en 1923, de dirigir una expedición española para realizar observaciones de un próximo eclipse en México. Estos son ejemplos de que a través de Einstein se intentó posicionar la ciencia española a nivel internacional. Sin duda, de haberse llevado a cabo estas dos propuestas hubieran aumentado tanto el prestigio español, como la posibilidad de colaboraciones internacionales.

Una situación relacionada con el debate de la ciencia española, desde una perspectiva política en relación con las teorías de Einstein, se dio como consecuencia de un comentario del ministro de Instrucción Pública criticando la opinión de Cabrera sobre el carácter “embrionario” de la ciencia española, mostrada en una de las conferencias del viaje de Einstein. El ministro Salvatella dijo que “tenemos bastante ciencia en España y no necesitamos entender la relatividad (o ser darwinistas) para ser buenos científicos”. Este comentario, que contestaba a la crítica de Cabrera en la línea con la de Echegaray del siglo anterior, tuvo impacto mediático, siendo duramente atacado por los medios liberales como el *Sol*. Lo significativo del caso es que ni más ni menos que un ministro de educación suscribiera tales afirmaciones. Aun así, no se prodigaron este tipo de polémicas en esta época. Es muy acertada la explicación que da Glick<sup>9</sup> a este hecho enmarcándolo en lo que llama “discurso civil” de la ciencia española de la época. Esta acepción responde a la situación, que se dio en España a principios de siglo, de realizar un pacto tácito entre los diferentes sectores sociales para desideologizar la ciencia y favorecer la modernización de la misma, y con ello del país. De esta forma se pudo iniciar un avance científico asociado a la institucionalización de la ciencia sin que se produjeran apropiaciones sectarias. Recordemos que la recepción del darwinismo en España sí tuvo este carácter polémico asociado a posiciones políticas en España, lo que no se produjo en la relatividad. Ejemplo de ello es que hubo sectores católicos ortodoxos tanto contrarios a la relatividad como a favor de ella, sin que el debate teológico trascendiera de forma significativa. Lo mismo ocurrió con los aspectos más políticos. Al contrario que en Alemania o en Francia, por ejemplo, no hubo en España enfrentamiento ideológico asociado a la relatividad. A pesar de que durante el viaje de Einstein los medios izquierdistas mostraran simpatía pública por su persona, el hecho de que muchos científicos relativistas y protagonistas de su difusión fueran conservadores católicos

---

<sup>8</sup> Este tema está tratado en detalle en Sánchez Ron y Thomas F. Glick, *La España posible de la Segunda República: la oferta a Einstein de una cátedra extraordinaria en la Universidad Central (Madrid, 1933)*, editorial Universidad Complutense, Madrid, 1983.

<sup>9</sup> Glick, *Einstein y los españoles*, Alianza, Madrid, 1986.

diluyó las posibles posturas politizadas en cuanto a la aceptación o rechazo de la relatividad.

En definitiva, vemos que el proceso de renovación de la ciencia en España fue clave en la introducción de la relatividad. A su vez, su difusión ayudó al prestigio de la ciencia española y favoreció su dimensión social e institucional. A esta dimensión social contribuyó el propio Einstein, con la implicación que tuvo su estancia en España en cuanto a impacto social y mediático en diferentes ámbitos. También implicó una explosión bibliográfica sobre la nueva física sin parangón anterior en nuestro país, como veremos más adelante.

En síntesis, en España hubo una aceptación generalizada de la relatividad por parte de la comunidad científica especializada, ayudada porque los introductores de la relatividad en España y principales difusores a nivel científico (Blas Cabrera, Esteban Terradas y José María Plans) eran figuras destacadas de la ciencia española de la época. Aunque hubo alguna resistencia a nivel científico, ésta se dio en casos aislados, pero en cambio con un relevante impacto en los medios de divulgación. Aun así, en España hubo posturas contrarias a la relatividad, que implicaron un cierto nivel de debate y en ocasiones con ciertas connotaciones polémicas. En estas resistencias se usaron una serie de tópicos, como que la relatividad no tiene aplicación práctica, contradice el sentido común, supone la quiebra total de toda la física anterior o sólo es válida como teoría matemática. Otros tópicos se basaban en interpretaciones claramente erróneas, como confundir la relatividad con el relativismo filosófico o asociarla con las corrientes *modernistas* que “socavan” el pensamiento tradicionalista. Se analizarán más adelante estos casos, en el apartado dedicado a los posicionamientos antirrelativistas del siguiente capítulo.

En líneas generales la recepción de la relatividad en España siguió unas pautas similares a las de otros países de nuestro entorno, especialmente en lo relacionado con la recepción asociada a la difusión popular y en gran medida potenciada por los viajes de Einstein a Francia, Italia e Inglaterra, que tuvieron un impacto también similar al de España. En todos los países hubo resistencias a la asimilación de la nueva teoría, aunque predominó la aceptación por la comunidad científica, con procesos posteriores de difusión e impacto asociado, especialmente desde 1919 con la comprobación observacional de la curvatura de la luz durante el eclipse de ese año. Evidentemente en cada país hubo unas connotaciones especiales. Aunque el análisis del proceso de recepción en los diferentes países no es objetivo de este estudio, a continuación se realiza una breve síntesis de cada caso, destacando algunos aspectos que tendrían repercusión en España.

En Francia<sup>10</sup> hubo una cierta animadversión por cuestiones políticas y predominio de prejuicios nacionalistas contra Alemania debido a la reciente Guerra Mundial. También se dejó notar la influencia de Poincaré, que no asumió la nueva teoría de Einstein, aun siendo uno de los precursores de la misma. Conviene recordar que Poincaré era uno de los principales físico-matemáticos de la época anterior a las revoluciones cuántica y

---

<sup>10</sup> Para la recepción de la relatividad en Francia véase Michel Paty “The Scientific Reception of Relativity in France” y Michel Biezunski “Einstein’s Reception in Paris in 1922” en Thomas F. Glick ed., *The Comparative Reception of Relativity*, 1987.



relativista. Además tuvo una determinante influencia en matemáticos españoles como Echegaray. Pero hubo dos científicos destacados en la asimilación y difusión de la relatividad en Francia: Painlevé y Langevin. Una anécdota interesante en relación con España es que Eugenio D'Ors asistió a los cursos sobre relatividad impartidos por Langevin en el *College de France*. Posteriormente D'Ors presentaría su tesis doctoral con temas relacionados con la relatividad, exponiendo sintéticamente la misma gracias a las notas recogidas en dicho curso.<sup>11</sup> Volveremos sobre este interesante asunto, especialmente por lo pronto de la fecha (1913) al analizar el tratamiento de la relatividad por los filósofos españoles. El debate más famoso sobre relatividad en Francia tuvo como protagonistas al filósofo Bergson y al propio Einstein, acerca de aspectos psicológicos o sensoriales de la percepción del tiempo. Bergson discutía la teoría de Einstein planteando el problema de la distinción entre el tiempo físico y el filosófico, que le llevaba a rechazar la desaparición del concepto de simultaneidad. Para Einstein la simultaneidad era una construcción mental sin realidad física, lo que negaba Bergson. Este debate fue ampliamente tratado en España, tanto en prensa como en revistas de divulgación.

En el Reino Unido<sup>12</sup> las resistencias contra la relatividad se pueden resumir como una reacción en defensa del concepto de éter, que era la base conceptual de toda la física británica creada en el Siglo XIX. Para la aceptación de la relatividad fue determinante el que fuera un equipo científico británico el que la corroborara. Los medios británicos se hicieron eco de la noticia de una forma intensa. Aun así, muchos científicos ingleses, aunque aceptaran en líneas generales la nueva teoría (no ponían en duda la explicación relativista de la desviación de la luz después del resultado), se resistían a abandonar la existencia del éter por el peso que suponía en toda la tradición de la física británica, desde Newton hasta Maxwell. El caso más destacado fue Oliver Lodge. El científico más relevante para la difusión de la relatividad fue Eddington (uno de los astrónomos que dirigió las expediciones), que escribió un libro considerado como clásico al poco de publicarse, *The mathematical Theory of Relativity* (1923), de gran influencia entre los especialistas españoles, que lo citaron con profusión. Posteriormente, Eddington, junto con Weyl, intentó desarrollar una geometrización del electromagnetismo, buscando así la unificación con la gravitación. Esta teoría se trató en España con mucho interés, especialmente por parte de José María Plans.

En Italia<sup>13</sup> la subida al poder del fascismo distorsionó en alguna medida la recepción de la relatividad, al politizarse en exceso interpretaciones de la teoría como asociadas al relativismo filosófico. Pero centrándonos en aspectos de recepción científica, entre los que aceptaban la teoría einsteniana se dio un interesante debate sobre si la relatividad suponía una revolución científica o una evolución de carácter progresivo.

---

<sup>11</sup> Según narra el mismo Ors en su tesis doctoral inédita, *Las aporías de Zenón de Elea y la noción moderna del espacio-tiempo*, Universidad Central, Madrid, 1913, p. 150.

<sup>12</sup> Véase Stanley Goldberg, *Understanding Relativity. Origin and impact of a Scientific Revolution*, Birkhäuser, Boston, 1984, capítulo 8 "Defending the Ether: The British Response"; y Sánchez Ron, "The Reception of Special Relativity in Great Britain" en Thomas F. Glick ed., *The Comparative Reception of Relativity*, 1987.

<sup>13</sup> Para la recepción en Italia se ha seguido Barbara J. Reeves "Einstein politicized: The early reception of relativity in Italy" en Thomas F. Glick ed., *The Comparative Reception of Relativity*, 1987.

Uno de los principales protagonistas fue Levi Civita que, como sabemos, ayudó al desarrollo matemático de la relatividad con el cálculo diferencial absoluto. Al principio de la fase de recepción se asumía el carácter revolucionario de la relatividad. Pero Levi Civita escribió un artículo contra esta visión revolucionaria que impactó notablemente en el cambio de tendencia hacia una visión “evolucionista” o progresiva de la relatividad. El artículo de 1918 se titula “*Come potrebbe un conservatore giungere alla soglia della nuova meccanica*”, y se publicó en 1920 en España.<sup>14</sup> Aunque también la relatividad en Italia se asentó con la visita de Einstein en 1921, con conferencias, sesiones en universidades y en academias científicas, previamente se produjeron importantes focos de resistencia a la aceptación de la misma. Algunos físicos se hicieron eco de las famosas palabras en 1911 del profesor americano Magie en la *American Association for the Advancement of Science*, respecto a que el abandono del éter “constituía un serio paso atrás en el desarrollo de la física especulativa”. Uno de los casos más famosos de teoría alternativa a la de Einstein fue la del prestigioso físico alemán Max Abraham que desde 1909 estaba asentado en Milán como profesor. Desarrolló su teoría en Italia a partir de 1911, basada en una interpretación electromagnética de la gravitación. Desde las páginas de la revista *Scientia*, una de las principales revistas científicas italianas, Abraham atacó reiteradamente la relatividad. De todas formas el peso de la corriente matemática asociada a Levi Civita y de científicos como Volterra, Fermi y Severi (de quien también se publicaron trabajos en nuestro país), entre otros, fue determinante para que se asumiera la relatividad en Italia. Recordemos la importancia que para la difusión de la relatividad en España tuvo la estancia de varios de nuestros matemáticos en Italia trabajando con colegas italianos e introduciéndose en el Cálculo Tensorial y Cálculo Diferencial Absoluto.

En Estados Unidos<sup>15</sup> lo más destacable es la atención que se prestó a los aspectos prácticos de la relatividad y a que estuviera basada en postulados demostrados experimentalmente (recordemos que Michelson era americano de origen alemán y sus experimentos los realizó en territorio norteamericano). En lo que interesa para el objeto de esta tesis, hay que destacar que el astrónomo español Luis Rodés trabajó en los años 20 en el Monte Wilson sobre espectrografía interferométrica, escribiendo posteriormente algunos interesantes trabajos relacionados indirectamente con la relatividad. Considero este caso de indudable interés para nuestro estudio por su singularidad, lo que se verá en detalle en el apartado dedicado a la contribución de los astrónomos españoles dentro del capítulo tercero.

Volviendo al caso de España, en el proceso de recepción aparece primero una fase de introducción (la más importante), posteriormente una fase de difusión en la comunidad científica y, por último, una fase de divulgación popular, así como la interpretación por parte de los filósofos y el mundo cultural o intelectual en general. Por fase de introducción entendemos los primeros científicos que recibieron información de

<sup>14</sup> Levi Civita, “Cómo podría un conservador llegar al umbral de la nueva mecánica”, *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1920, p 107-176.

<sup>15</sup> Véase Stanley Goldberg, *Understanding Relativity. Origin and impact of a Scientific Revolution*, Birkhäuser, Boston, 1984, cap. 9 “Defending the practical: The American Response” y cap. 10 “Relativity in America, 1912-1980”.

la nueva teoría, la interpretaron y asumieron, para comenzar la difusión entre el resto de la comunidad científica.

Este proceso de introducción y difusión científica fue protagonizado de forma destacada por tres científicos, que además eran los más señalados en sus respectivas disciplinas. Son el físico Blas Cabrera, el físico-matemático e ingeniero Esteban Terradas y el matemático José María Plans. Una breve biografía de cada uno de ellos se presenta en el capítulo siguiente, pero se adelantan ahora unos perfiles que considero significativos. A Blas Cabrera se le ha considerado el fundador de la física experimental en España y era el físico más importante e influyente; Terradas destacó como un científico precoz en tratamientos teóricos avanzados tanto de física como de matemáticas; por último, Plans es reconocido como el introductor y mayor especialista español del cálculo diferencial absoluto (ahora más conocido como cálculo tensorial, herramienta fundamental para el desarrollo de la relatividad general), aportando, además, planteamientos originales en aplicaciones de la mecánica relativista al estudio de casos concretos y dirigiendo trabajos en este sentido a discípulos como Puig Adam.

Las primeras referencias sobre relatividad en España son de 1908 por parte de Cabrera y Terradas y de 1909 en los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, la revista de referencia de la física española.

Se puede considerar este primer periodo como de evolución, en el que todavía no tenían asumida la auténtica significación del principio de relatividad como teoría completa. A partir de 1912 es cuando se interpreta correctamente la relatividad. Veremos esto con detalle en el capítulo siguiente. Se ha comentado anteriormente la importancia de la creación de los *Anales de la Soc. Esp. Física y Quim.*, y que sirviera de difusión de las nuevas aportaciones de la Física. Así, las primeras referencias sobre la relatividad en España, además de las de Cabrera y Terradas en 1908, aparecieron como citas o recensiones en los *Anales* de artículos originales, principalmente de científicos alemanes. También se profundizará sobre este aspecto en el capítulo específico mencionado.

Un aspecto importante del proceso de recepción es el bibliográfico. Hubo una auténtica "explosión" de publicaciones (tanto de artículos científicos, como periodísticos y libros) de 1921 a 1923, coincidiendo con la visita de Einstein y sus preparativos. Se publican los primeros libros sobre relatividad en España que suponen una exposición completa y sistemática, con traducciones del de Freundlich en 1920 y a partir de 1921 los de Schlick, el propio Einstein, Born y Eddington.<sup>16</sup> Estas obras son de divulgación media a las que hay que añadir una más especializada matemáticamente de Plans (*Nociones fundamentales de Mecánica relativista*, Madrid, 1921) y otra de Cabrera (*Principio de Relatividad. Sus fundamentos experimentales y*

---

<sup>16</sup> Freundlich, Erwin. *Los fundamentos de la teoría de la gravitación de Einstein* (con prólogo de Alberto Einstein. y traducción de José María Plans), Madrid, 1920; Einstein, *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*, (traducción de Lorente de No) editorial Toledo, Madrid, 1921; Schlick, Moritz: *Espacio y tiempo en la Física actual* (traducción de Manuel García Morente, Madrid, 1921; Eddington, Arthur Stanley, *Espacio, tiempo y gravitación* (traducido por José María Plans), Barcelona, 1922; Born, Max: *La teoría de la relatividad de Einstein y sus fundamentos físicos*, (traducido por Manuel García Morente), Madrid, Calpe, 1922.

*filosóficos y su evolución histórica*, Madrid, 1923) que probablemente es el primer libro en tratar también los aspectos históricos y conceptuales en profundidad.

Aunque a nivel individual hemos visto que la recepción de la relatividad fue obra de Terradas, Cabrera y, posteriormente, Plans, a nivel institucional, en una fase posterior de consolidación del pensamiento relativista, fue la *Sociedad Matemática Española* el centro de dicha consolidación. Ejemplo claro fue que el famoso libro de Einstein de divulgación se tradujera al castellano por el matemático Lorente de No y se publicara en la *Revista Matemática Hispanoamericana*. El otro ejemplo es la preparación del viaje de Einstein a Madrid. Para este viaje los miembros de dicha sociedad prepararon una reunión conjunta con Einstein sobre cuestiones técnicas de la relatividad, fuera del contexto de las reuniones protocolarias en las que predominaban los discursos y presentaciones de tipo general. Para la preparación de esta reunión, los miembros de la Sociedad Matemática se reunieron varias veces con el objeto de preparar cuestiones interesantes que se pudieran plantear a Einstein. Algunas se prepararon incluso por escrito. Posteriormente, la *Revista Matemática* preparó un número especial en el que resumió las conferencias de Einstein.

En España el hecho de que las instituciones científicas y grupos básicos en la Física y Matemática española estuviesen controlados por personalidades favorables a la relatividad determinó la aceptación y difusión de la misma. Para esa predisposición previa por parte de los matemáticos españoles fue fundamental el que tuvieran una estrecha relación y colaboración con los matemáticos italianos, que habían realizado contribuciones directas a la relatividad general en la parte matemática. Es decir, en los aspectos de la recepción y divulgación existe una clara dimensión social de las directrices que toma determinada disciplina científica.

Los científicos que formaron parte del proceso de recepción y divulgación de la relatividad o entraron en debate contra la teoría fueron, además de los tres principales señalados, los físicos Martínez-Risco, Miguel Catalán<sup>17</sup>, Julio Palacios, J. Vecino, Pérez del Pulgar; los matemáticos, Enrique de Rafael, Puig Adam, Lorente de No, Rodríguez Bachiller, Burgaleta; los astrónomos Comas Sola, Pedro Carrasco y Luis Rodés, ingenieros como Emilio Herrera, Bentabol y José Isaac Corral.

Los escritos de los científicos especializados, Cabrera, Terradas y Plans, no eran para consumo popular, sino para quienes tuvieran formación matemática. Los principales receptores de esta difusión especializada fueron los ingenieros, quienes realizaron la otra función, la de la difusión popular de la relatividad. También hubo otros casos de divulgadores por parte de químicos y farmacéuticos. De todas formas, aunque la difusión popular la realizaron prioritariamente los ingenieros, Cabrera y Plans también escribieron textos sobre relatividad de carácter divulgativo que se publicaron en revistas de divulgación. Por otra parte, ya se ha comentado que en esa época en España era normal que muchos matemáticos fueran ingenieros. Anteriormente ya lo había sido Echegaray, y en la época que nos ocupa el caso más significativo era el de Terradas. Además, fue representativo que hubiera cursos de

---

<sup>17</sup> Catalán no figura en ningún texto que conozca como receptor de la relatividad. En cambio en este trabajo establezco que sí lo fue por su contribución en los *Anales de la Soc. Española de Física y Química* mediante reseñas de obras sobre relatividad.

relatividad en los estudios de ingeniería en España. El caso que más ha trascendido, por estar bien documentado en un libro de texto, es el de Enrique de Rafael que impartió el curso “Nociones de Mecánica clásica y relativista” en el curso 1921-1922 en la escuela de ingenieros del *Instituto Católico de Artes e Industrias* (ICAI), y que consideraba necesario conocimientos de filosofía de la ciencia por las implicaciones filosóficas de la nueva teoría. Quizá este fue uno de los motivos del interés de los ingenieros por los aspectos filosóficos de la relatividad que llegaron a tratar con cierta asiduidad. En definitiva, parece que el conocimiento de la relatividad implicaba un cierto prestigio en la comunidad de ingenieros, en donde hay múltiples ejemplos de conferencias y libros de divulgación. También hubo algún caso de participación de físicos en aspectos de divulgación como el del discípulo de Cabrera, José de la Puente que fue el traductor en 1923 de una de las obras de divulgación más famosas en Europa, la de Paul Kirchemberger *¿Qué puede entenderse sin matemáticas de la relatividad?*.

También participaron en la divulgación de la relatividad otros científicos no especialistas en física y matemáticas, como el prestigioso químico Enrique Piñerua, que impartió unas conferencias de “vulgarización” en la Facultad de Ciencias de Madrid organizadas por la *Asociación Nacional de Químicos*. Estas conferencias se publicaron y de su lectura se deduce que, aunque en principio aceptaba la relatividad, era ambiguo en cuanto a las implicaciones de la misma. En cuanto al tema de la divulgación, aunque no es objetivo de este trabajo, si se hace necesario resaltar el papel de Ortega y Gasset que, como director de el diario *El Sol*, planteó una política deliberada de divulgación científica. Como consecuencia de la misma, en dicho diario se publicaron bastantes artículos sobre relatividad, además de ser centro de algunas polémicas protagonizadas por Emilio Herrera. También Ortega fundó en 1923 la *Revista de Occidente* que a partir de 1925 publicó artículos de científicos famosos que incluían divulgaciones sobre la relatividad.

Como adelanto del capítulo 3 donde se analiza en profundidad la recepción científica de la relatividad en España, se muestra a continuación una serie de factores clave que marcan dicho proceso:

- Las primeras referencias de Terradas y Cabrera en una fecha tan temprana como es 1908, así como las “Notas alemanas de Física” en los *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, en 1909 y 1910.
- La evolución del pensamiento de Terradas y Cabrera respecto a la asimilación de la relatividad, con la correcta interpretación del principio de relatividad, en toda su extensión, en 1912 por parte de Terradas y en 1921 por parte de Cabrera. Especialmente representativo es el libro de Cabrera de 1923 dedicado a la relatividad, ya citado anteriormente, el estudio más completo publicado en España con análisis detallado del desarrollo histórico y aspectos conceptuales.
- Las contribuciones de José María Plans en cuanto al aparato matemático de la relatividad y su dirección de trabajos originales de discípulos suyos, como Puig Adam.

- Las aportaciones de astrónomos, como Pedro Carrasco en el análisis de los datos del eclipse de 1919 y Luis Rodés sobre cuestiones teóricas de espectografía relacionadas con relatividad. Sobre este aspecto de espectroscopia también hay que destacar los trabajos de Martínez-Risco, indirectamente relacionados con relatividad.
- La organización del viaje de Einstein, con la celebración de algunos debates científicos innovadores.

## 2.2. RELATIVIDAD Y FILOSOFÍA EN ESPAÑA

Es evidente la posibilidad de tratamiento de la relatividad desde consideraciones filosóficas, tanto en el análisis de su origen (influencias de Hume y Mach sobre Einstein, como él mismo afirma en sus *Notas autobiográficas*), como en sus implicaciones posteriores (el problema de la naturaleza del espacio y el tiempo, la imagen del mundo físico, etc), o en cuestiones metodológicas en el ámbito de la Filosofía de la Ciencia (caso de Popper según expone en su autobiografía intelectual *Búsqueda sin término*).

Más que analizar las implicaciones de la relatividad en la filosofía española, es decir el impacto filosófico, me voy a centrar en resumir cómo reaccionaron los filósofos en el periodo de recepción. Para ello es conveniente, a modo de aproximación, realizar una breve síntesis de las diversas aproximaciones de pensadores europeos.<sup>1</sup>

Uno de los primeros grupos de filósofos que reaccionaron ante la relatividad fueron los asociados al positivismo lógico del *Círculo de Viena*. La filosofía de este grupo se vio influenciada por aspectos metodológicos sobre el desarrollo de la teoría y muchos de sus miembros reconocieron sentirse influidos por la relatividad y escribieron acerca de ésta. Uno de los fundadores del *Círculo*, el físico y filósofo Moritz Schlick, publicó en 1915 uno de los primeros textos relacionando la relatividad con la filosofía, con un título significativo "El significado filosófico de la teoría de la relatividad". También contribuyó a la difusión de la relatividad en su libro de divulgación de 1918, traducido en España en 1920, *Espacio y tiempo en la Física actual* en el que dedica un capítulo denominado "Referencias a la filosofía".

Pero antes que Schlick, el filósofo neokantiano alemán, Paul Natorp ya escribió unos capítulos, en su obra *Die Logischen Grundlagen* (1910), sobre la interpretación filosófica de la relatividad con la intención de hacerla compatible con el sistema kantiano. También otro filósofo de la misma corriente, Eduard Sellien, escribió sobre esta idea atacando la interpretación de los miembros del *Círculo de Viena*. En la misma línea participó el también filósofo alemán Ernst Cassirer con su obra publicada en 1921 *Para la crítica de la teoría einsteniana de la relatividad*.

Otros miembros del *Círculo de Viena* discutieron aspectos filosóficos de la relatividad, como Philip Frank y Carnap acerca del concepto del espacio relacionado con el papel de las geometrías no euclídeas en la relatividad general. También Gödel estudió las implicaciones filosóficas pero en una época más tardía.

Uno de los más destacados en tratar la relación entre filosofía y relatividad fue Reichenbach publicando, entre otros escritos, el libro *La teoría de la relatividad y el conocimiento a priori*. Para Reichenbach la teoría de Einstein fue lo que le llevó a dejar su primera orientación filosófica kantiana. Reichenbach, influido por la relatividad, realizó contribuciones a la filosofía de la ciencia respecto a su análisis de

---

<sup>1</sup> Dos buenas aproximaciones al impacto filosófico de la relatividad son Agustín González Ruiz *La nueva imagen del mundo. El impacto filosófico de la teoría de la relatividad*, AKAL 2003; y Otero Carvajal, "Madrid científico: relatividad y relativismo en España", *Alfoz*, v 66-67, 1989, p 33-48.

los conceptos de espacio y tiempo. En 1928 publicó *La filosofía de la doctrina del espacio-tiempo*.

Otro ejemplo claro de influencia es el de Popper y su línea de pensamiento acerca de la metodología de la ciencia. El mismo Popper comenta en su autobiografía cómo le influyó el pensamiento de Einstein en dos aspectos, uno el considerar la física newtoniana como un caso límite de la relativista y otro el que el propio Einstein propusiera una serie de pruebas experimentales que si no se ratificaban harían su teoría insostenible. Esta búsqueda de Einstein de pruebas cruciales, más que de verificaciones, fue determinante en su pensamiento y génesis de su teoría del “falsacionismo”.

Fuera ya del entorno del *Círculo de Viena*, aunque relacionado con el positivismo lógico, está el caso de Bridgman, que en 1927 publicó *La Lógica de la Física moderna* en la que consideraba ejemplos como el concepto de simultaneidad, que no tenía sentido porque no se podían realizar operaciones sobre mediciones respecto a sucesos para ver si éstos eran simultáneos o no. Recordemos que el operacionalismo de Bridgman consiste, muy básica y resumidamente, en que sólo son válidos en ciencia los conceptos sobre los que se pueden llevar a cabo ciertas operaciones. Este aspecto lo trató Bridgman relacionándolo con el cambio conceptual que se dio en relatividad respecto al tiempo y el espacio.

Entre los filósofos británicos hubo un cierto debate entre filósofos idealistas como Wildon Carr y neorrealistas, como Percy Nunn, que consideraban que la relatividad corroboraba sus propias posiciones. En este sentido Bertrand Russell en un artículo de 1926, “Consecuencias filosóficas de la relatividad” señalaba el hecho de que muchos filósofos interpretaban la relatividad de acuerdo con sus propios planteamientos. (Esto también se dio en España como veremos más adelante). Russell también publicó en 1925 un libro de divulgación, *El ABC de la relatividad*.

Volviendo ya a nuestro país, en la fase considerada como de recepción de la relatividad (años 20 y 30), las principales aportaciones de reflexión filosófica sobre relatividad fueron de Eugenio D’Ors en 1913, Ortega en 1923 y posteriormente Xavier Zubiri en 1934. García Bacca también contribuyó pero en época más tardía, fuera ya del proceso de recepción. Hubo otras apariciones menos relevantes, como las de García Morente, Ledesma Ramos, Permatín, Xirau, aparte de reflexiones de índole filosófico realizadas por ingenieros difusores de la relatividad, del que sólo destacamos un caso de interés, Juan Rosich, por su análisis teórico de las resistencias a aceptar la relatividad, en cierta medida precursor de Kuhn.

Aunque las aproximaciones de pensadores españoles a la relatividad tiene un indudable interés, un análisis detallado de las mismas se escapa del objetivo de esta tesis. Aun así, con el objeto de ofrecer una visión general del proceso de recepción de la relatividad, se muestra a continuación una breve síntesis de cada una de las aportaciones citadas

La primera referencia del pensamiento español es de Eugenio D’Ors en 1913, fecha sorprendentemente temprana, al presentar su tesis *Las aporías de Zenon de Elea y la noción moderna del Espacio-Tiempo*, para la obtención del grado de Doctor en



Filosofía por la Universidad Central de Madrid.<sup>2</sup> El objeto de esta tesis es dar solución racional a las famosas aporías de Zenon, relacionadas con el problema de la infinita divisibilidad del espacio y el tiempo. Para D'Ors, hasta la llegada de la revolución relativista, con su nueva concepción unitaria del espacio-tiempo, no se da una explicación racional, es decir no basada en cuestiones empíricas o de la intuición, al problema que se mantuvo durante más de veinte siglos y que no se solucionaría hasta la formulación del *universo* espacio-temporal de Minkowski. El desarrollo de D'Ors sitúa el problema de las aporías históricamente, dentro del pensamiento filosófico. Se exponen las diferentes aporías de Zenon, especialmente la de la flecha y la de Aquiles y la Tortuga. Se resumen las contestaciones dadas por la filosofía, en las que se constata la incapacidad para resolver el problema desde el punto de vista racional. Realiza una exposición sintética del desarrollo teórico de la física-matemática moderna, en concreto el principio de relatividad y la concepción del espacio-tiempo relativa a la línea del universo de Minkowski.

Para D'Ors esta noción del espacio-tiempo considerado como “Categoría Única” cambia el problema de la infinita divisibilidad, ya que el tiempo y el espacio, por separado, pueden seguir siendo divisibles hasta el infinito, pero el espacio-tiempo no. Veamos cómo razona D'Ors, en mi opinión de una forma brillante: según la relatividad, un suceso (D'Ors lo denomina un *acontecimiento*) es una coincidencia. En un lugar del espacio pueden ocurrir infinitos acontecimientos, igualmente, en un instante de tiempo también pueden ocurrir infinitos acontecimientos. Pero en *un lugar único* del espacio y en un *momento único del tiempo*, sólo puede ocurrir un acontecimiento, que en la literatura científica se denomina suceso. Este suceso así considerado en el espacio-tiempo es indivisible, ya que si dicho suceso lo pudiéramos fraccionar, cada una de las partes sería otro suceso en un espacio y un instante de tiempo diferentes, lo que daría dos instantes de tiempo y dos lugares en el espacio para un único suceso, lo que contradice la definición considerada de suceso en el espacio-tiempo. Lo que hemos denominado suceso como coincidencia en representación gráfica es una intersección de dos líneas, una del espacio y otra del tiempo. Cada una de ellas es divisible, pero la intersección es un punto, y por lo tanto, indivisible. Otra argumentación que lleva a la misma conclusión es que una línea del espacio es una suma de puntos, siendo éstos siempre divisibles; lo mismo para una línea del tiempo. Pero una línea del Universo en el sistema de Minkowski, es una suma de puntos que son indivisibles, ya que a su vez éstos puntos son intersecciones de dos líneas, la del espacio y la del tiempo.

De esta forma se da solución a las aporías de Zenón, ya que en el caso de la flecha, no tenemos un espacio recorrido por la flecha infinitamente divisible (es decir una colección de puntos como cantidades que siempre son divisibles), sino una línea del

---

<sup>2</sup> La tesis permanece actualmente inédita, aunque la parte final, dedicada precisamente a la relatividad apareció en la revista *Theoria* en 1953. Respecto al carácter de inédita se refirió el propio D'Ors en un texto de 1923 aparecido en el *Nuevo Glosario* de 1947 (“Einstein, su venida a España, su racionalismo” en *Nuevo Glosario I*, Aguilar editor, Madrid, 1947, págs. 794 a 797). En la historiografía conocida por mí acerca de la relatividad en España se han tratado, en algunos trabajos, las contribuciones de Ortega, Zubiri, García Morente, García Bacca y otros filósofos, pero no sobre este texto de D'Ors, salvo una breve referencia de Glick en la que no analiza el contenido de dicha tesis.

Universo de la flecha, que sí es divisible en una colección de puntos considerados como sucesos. Similar argumento se puede dar para el caso de la tortuga y Aquiles.

En las conclusiones de su tesis es claro D'Ors:

Todos estos antecedentes deben ser tenidos en cuenta para conocer cómo la filosofía finitista ha entrado en el pensamiento moderno. Mas siempre, ante esta corriente, las viejas aporías se presentaban como una insuperable dificultad. Ha sido necesario, para derribarlas, disponer de una nueva noción del espacio. Esta noción es la que hoy nos ha proporcionado la Física nueva, con su instauración del principio de relatividad.<sup>3</sup>

Antes de la visita de Einstein, el filósofo Manuel García Morente protagonizó algunos escritos de aproximación a la relatividad pero desde el punto de vista de interpretación de la teoría y conocimiento científico de la misma. Fue el traductor de la obra de divulgación de Moritz Schlick<sup>4</sup>, fundador del Circulo de Viena, *Teoría de la relatividad. Espacio y tiempo en la Física actual*, (Calpe, Madrid, 1921). García Morente, catedrático de Filosofía en la Universidad Central de Madrid entre 1912 y 1936 y decano de la Facultad de Filosofía, aportó unos apéndices aclaratorios en el que sólo en uno de ellos trató alguna implicación relacionada con problemas filosóficos, al hablar sobre el mundo finito pero ilimitado.<sup>5</sup>

Sin duda, la aportación más conocida de reflexión filosófica sobre la relatividad en España es la de Ortega, tanto por la relevancia de su autor, como por su ensayo de 1923 "El sentido histórico de la teoría de Einstein"<sup>6</sup>, que es considerado un clásico en el debate intelectual sobre la relatividad. Ortega participó destacadamente en la visita de Einstein a España, acompañándole a Toledo y haciendo de traductor simultáneo en la conferencia impartida por Einstein en la *Residencia de Estudiantes*, en marzo de 1923. El ensayo es una crítica a la confusión de la teoría de Einstein con el relativismo filosófico, defendiendo el carácter absoluto de la física einsteniana, donde la realidad se asocia con el espacio-tiempo, que es el "ingrediente objetivo de la perspectiva física". Enlaza así Ortega la relatividad con la doctrina perspectivista que elaboró en *El Espectador*, desarrollando su idea de la asociación entre la nueva física y el perspectivismo. Para Ortega el espacio y el tiempo vuelven a ser formas de lo real, en contra de la corriente kantiana, y además no son absolutos porque no hay una

<sup>3</sup> Eugenio D'Ors, *Las aporías de Zenón de Elea y la noción moderna del espacio-tiempo*, Tesis Doctoral, Universidad Central de Madrid, 1913, p. 200 (En Archivo Tesis de la UCM). También aparece en "Los argumentos de Zenón de Elea y la noción moderna del espacio-tiempo", *Theoria*, Madrid, 1953, nº 5-6, p. 6.

<sup>4</sup> A quien Agustín González otorga un papel fundamental en la hipotética polémica Einstein-Kant, en *El impacto filosófico de la relatividad*, Akal.

<sup>5</sup> M Schlick, *Teoría de la relatividad. Espacio y tiempo en la física actual (Traducido de la tercera edición alemana por Manuel G. Morente, con once apéndices explicativos)*, Calpe, Madrid, 1921. El traductor aclara que los apéndices son suyos. Sobre G. Morente y la relatividad véase Manuel Garrido, "Una contribución de García Morente al análisis filosófico de la teoría de la relatividad", *Limbo (suplemento Teorema)*, nº 22, 2005, p 45-46.

<sup>6</sup> Ortega y Gasset, *El tema de nuestro tiempo*, Calpe, 1923. Hay múltiples reediciones. De la importancia de este texto da cuenta el que aparece también en la selección de textos originales sobre relatividad de L. Pearce Williams *Relativity Theory: Its Origins and impact on Modern Thought*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1963 con extractos de Einstein, Eddington, Poincaré, Mach, Lorentz, Whittaker, entre otros (existe versión española, *La teoría de la relatividad*, Alianza Universidad, 1973).

perspectiva absoluta. Antes de este ensayo, Ortega ya protagonizó dos referencias en las que alababa la teoría de Einstein y constataba la trascendencia de la misma fuera del ámbito mismo de la física en diferentes ordenes de la cultura. La primera en 1921 aparecida en un epígrafe de la tercera parte de *El Espectador*<sup>7</sup> y la segunda en 1922 en el prólogo a una obra de divulgación sobre la relatividad de Max Born editada bajo el auspicio del mismo Ortega.<sup>8</sup> Además, como director del diario *El Sol* Ortega propugnó la publicación de artículos y noticias sobre ciencia en general, y relatividad en particular.<sup>9</sup> También la propia *Revista de Occidente* propugnó el debate intelectual sobre la relatividad, al publicar en 1927 el libro antirrelativista del biólogo y filósofo alemán Hans Driesch *Relativitätstheorie und Philosophie* (1924).<sup>10</sup> Esta obra fue criticada por el pensador falangista Ledesma Ramos en defensa de la relatividad einsteniana.<sup>11</sup>

Años más tarde el filósofo católico José Permartín se posicionó de forma ambigua sobre la relatividad.<sup>12</sup> Permartín impartió durante el curso 1934-1935 unas conferencias bajo la tutela de la organización *Acción Española* sobre “espacio-tiempo-causalidad” (que se publicaron en el libro *Introducción a una filosofía de lo temporal: doce lecciones sobre espacio-tiempo-causalidad*, Espasa Calpe, Madrid 1941) donde realizó una revisión de las ideas filosóficas del espacio y el tiempo. Respecto a la concepción relativista la interpreta erróneamente al afirmar que Einstein “espacializa al Tiempo y suprime en su sistema a toda realidad no extensiva del Universo; es decir, suprime su verdadera realidad.” En otro trabajo, Permartín defiende una teoría de la relatividad alternativa a la de Einstein, propuesta por E.A. Milne y defendida por el profesor Martín Jonson, del *Institute of Physics* de Londres en *Time knowledge and the nebulae* (1945). Para Permartín esta nueva relatividad de Milne tiene una gran importancia desde el punto de vista filosófico, tanto epistemológico como metafísico, porque, en contra de la visión einsteniana, objetiviza el tiempo al asignarle la clave de la realidad física objetiva.<sup>13</sup>

Junto con D’Ors y Ortega, el otro pensador español que realizó un intento de asimilación filosófica de la relatividad fue Xabier Zubiri, que conoció personalmente a Einstein, Heisenberg y Schrödinger, entre otros, y tenía una sólida formación en física y matemáticas.

En un ensayo de 1925, “Crisis de la conciencia moderna”, Zubiri constata la necesidad de que la Filosofía no se quede indiferente ante la nueva física. En “La idea

<sup>7</sup> Ortega y Gasset, “Musicalia”, *El Espectador III*, 1921.

<sup>8</sup> Ortega y Gasset, Prólogo a la versión española de Max Born, *La teoría de la relatividad de Einstein y sus fundamentos físicos*, Calpe, Madrid, 1922 (colección Biblioteca de ideas del siglo XX, dirigida por Ortega).

<sup>9</sup> Para la aproximación de Ortega a la relatividad véase Julio Ostalé García “Ortega y la relatividad especial”, *El basilisco*, 2ª época, nº32, p. 89-92. También aparece una relación extensa de referencias de Ortega sobre relatividad en González de Posada, “Ortega ante la teoría de la relatividad”, *Limbo, suplemento de Teoría*, Nº 22, 2005, p. 9 a 21.

<sup>10</sup> Driesch, *La teoría de la relatividad y la filosofía*, Revista de Occidente, Madrid, 1927.

<sup>11</sup> Ledesma Ramos, “Hans Driesch y las teorías de Einstein”, *La Gaceta Literaria*, 15-10-1928. Para más información sobre el debate Ledesma Ramos-Driesch, ver Glick, 1986, p. 202.

<sup>12</sup> José Permartín, “La física y el espíritu”, *Acción española*, nº 3, 1932 y nº 4, 1933.

<sup>13</sup> José Permartín, “Sobre el tiempo. Una nueva teoría de la relatividad”, *Revista de Filosofía*, CSIC, nº18, Julio-Sept. 1946, p. 477 a 497.

de la naturaleza: la nueva física" (1934)<sup>14</sup> hace una aproximación principalmente a la física cuántica, que considera realmente la nueva física, ya que para él la relatividad se puede considerar como clásica por mantener la idea de continuidad y determinismo. Aun así, trata aspectos relacionados con la teoría einsteniana al analizar la unificación de la mecánica cuántica con la relatividad especial en la reciente, por entonces, teoría del electrón de Dirac. Zubiri defendía una interpretación unitaria de la Física, como representación de la Naturaleza, en definitiva de la *realidad*. De ahí que considerara como tema pendiente la compatibilidad de la relatividad general con la física cuántica. Para Zubiri se hace necesario tener una imagen de la Naturaleza, de tal forma que la crisis de la nueva física planteaba un problema de ontología de la Naturaleza. En todo ello la matemática jugaba un papel fundamental, como "la estructura formal de la Naturaleza"<sup>15</sup>. En *Estructura dinámica de la realidad* (1968, aunque publicado en 1989), Zubiri profundizó en las implicaciones filosóficas de la relatividad. En su pensamiento dejó claro que asumía la idea del espacio según la relatividad general, pero, en cambio, no así la idea del tiempo ("el tiempo es sólo tiempo, no le demos más vueltas"). Recientemente González de Posada ha defendido que la Metafísica de Zubiri se fundamenta en la nueva física del siglo XX, tanto la cuántica como la relatividad.<sup>16</sup>

En cuanto a la importancia de la relatividad para la Filosofía de la Ciencia, García Bacca trabajó a lo largo de los años desde el exilio. Entre 1928 y 1931 realizó estudios de física atómica y relatividad en Munich con Sommerfeld. Su tesis doctoral, *Ensayo sobre la estructura lógico-genética de las ciencias físicas* (1935), ya mostraba el camino futuro de sus intereses. Respecto a la relatividad, los títulos de algunos de sus ensayos son representativos, como *Filosofía de las ciencias. Teoría de la relatividad* (México, 1940) o *Filosofía y teoría de la relatividad*. (Quito, 1956). García Bacca planteaba la historia de la física como una serie de inventos conceptuales cuya evolución se dirigía hacia la relatividad, donde Espacio y Tiempo actúan como un "bloque categorial en coordinación objetiva", de tal forma que tal bloque "no se integra sólo de Espacio, Tiempo, sino de Espacio-Tiempo-Gravitación".<sup>17</sup>

Siguiendo con cuestiones relativas a la Filosofía de la Ciencia, algunos ingenieros hicieron aproximaciones seudofilosóficas a la relatividad, pero, sin duda, la más innovadora fue la de Joan Rosich en su obra *De las hipótesis y teorías en las ciencias físicas* (Tarrasa, Escuela Industrial, 1922), que se podría aventurar con un cierto rasgo de precursor de Kuhn. El mismo autor dice que se ha servido para muchas de sus ideas de una obra de Meyerson, *De l'explication dans les sciences*, (1921). Plantea como lógica una cierta resistencia a admitir la relatividad por ir contra nuestro sistema conceptual aprendido desde la infancia. Como ejemplo comparativo usa, al igual que Kuhn muchos años después, el caso del flogisto, al que siguieron aferrándose químicos formados en esa idea cuando ya había pruebas irrefutables de la no

<sup>14</sup> Zubiri, "La idea de la naturaleza: la nueva física" (1934), Publicado originalmente como "La Nueva Física (Un problema de filosofía)." *Cruz y Raya* nº 10, 1934, p 8-94.

<sup>15</sup> Zubiri, *Ibidem*, 1934.

<sup>16</sup> González de Posada, *La Física del Siglo XX en la Metafísica de Zubiri*, Instituto de España, Madrid, 2001.

<sup>17</sup> García Bacca, "Historia filosófica de la Física, como serie de inventos conceptuales", *Teoría*, 1953, nº5-6, p. 46.

existencia del flogisto. Cuando surgió la teoría de Lavoiser, eliminando la hipótesis del flogisto por superflua, precisamente tuvo más apoyo entre los físicos que entre los químicos. Cambiemos el flogisto por el éter o el tiempo absoluto, los físicos por los matemáticos y nos encontraremos una situación análoga con la relatividad, donde en el caso de España sí hubo unanimidad en su aceptación por parte de los matemáticos, y no en cambio por los físicos. Rosich plantea que en realidad la ciencia antigua también ha sido útil para el adelanto de la ciencia, aunque en algunos casos se dan ataques injustificados:

En lugar de explicar los lazos que las unen se procura tan solo poner en evidencia las particularidades que las distinguen y ahondar las diferencias exagerando incompatibilidades y rebuscados efectos paradójicos. Así se está haciendo con la teoría de la relatividad, por prestarse tan fácilmente a la paradoja y al efectismo, y que parece hecha expresa para amenizar la sección de curiosidades científicas de algún semanario ilustrado.<sup>18</sup>

Para Rosich, la clave del problema está en comprobar que la relatividad no ha surgido como una teoría radical y de repente, sino que hay unos antecedentes que empiezan por hechos que no concordaban con la física clásica. Por ejemplo, respecto si el espacio es euclidiano o no, la duda ya se planteó mucho antes que Einstein. Riemann en 1854 y Lobatschevsky en 1866 reclamaban observaciones astronómicas para comprobar si el espacio era curvo. Mach en 1872 planteaba que la falta de una explicación satisfactoria para la electricidad se debía a considerar los fenómenos electromagnéticos en un espacio de tres dimensiones. El astrónomo alemán Zoellner intentó una teoría de la gravitación, que explicara dicha interacción sin recurrir a la acción a distancia, mediante un espacio de cuatro dimensiones.

Como se verá en el siguiente apartado, hubo en España un debate sobre relatividad en el ámbito clerical, del que dos asuntos son interesantes en relación con el pensamiento filosófico: la posible compatibilidad entre relatividad y el pensamiento escolástico, y el recurso al filósofo del XIX Jaime Balmes para apoyar las propias tesis a favor y en contra de la relatividad. Resumo a continuación muy sintéticamente ambos casos.<sup>19</sup>

En los años de recepción, dos autores se apoyaron en la escolástica para ratificar sus ideas en defensa de la relatividad, Enrique de Rafael y Luis Urbano. Enrique de Rafael, más que buscar el apoyo de la escolástica para defender la relatividad, incidía en que esta revolución científica no implicaba ninguna contradicción con la corriente filosófica católica. Más bien, las concepciones absolutas del espacio y el tiempo según la física newtoniana eran las que divergían de las aceptadas por los filósofos escolásticos, quienes consideraban un espacio imaginario que difiere menos del espacio-tiempo einsteniano que de la concepción newtoniana.

Luis Urbano escribió un interesante libro denominado *Einstein y Santo Tomas. Estudio crítico de las teorías relativistas* (Valencia, 1927), en el que intenta

<sup>18</sup> Joan Rosich, *De las hipótesis y teorías en las ciencias físicas*, Tarrasa, Escuela Industrial, 1922, p. 9.

<sup>19</sup> Para más detalle, véase Pablo Soler Ferrán, "Un aspecto de la recepción de la relatividad en España: el debate en medios religiosos" en *Religión y Ciencia*, Univ. Castilla La Mancha, Ciudad Real, 2007, p 57-95.

compatibilizar a todos los niveles la relatividad y el pensamiento tomista. Es un libro profundo y riguroso, haciendo uso del formulismo matemático, donde para cada uno de los conceptos del espacio, el tiempo y el movimiento desarrolla el mismo esquema de contestar a los argumentos contrarios a la relatividad y armonizar las visiones relativistas y tomistas, apoyándose para ello en citas de la *Summa Theologica* de Sto. Tomás.

Años más tarde, en 1961 Antonio Aróstegui escribió *El espacio en la física tomista y en la física actual* que incidía en temas similares a los de Luis Urbano y De Rafael, pero no lo considero por estar fuera del ámbito del período de recepción.

En cuanto al recurso a Balmes (1810-1848), algunos autores intentaron señalarlo como precursor de las ideas relativistas y otros basaban su crítica a la nueva física basándose precisamente en sus ideas. Recordemos que Jaime Balmes fue un sacerdote y filósofo español, con estudios en Física y Matemáticas, destacado como apologista católico por su contribución al renacimiento de la neoescolástica y a la filosofía política. Escribió en 1846 *Filosofía fundamental*, obra importante en la filosofía española, que se tradujo al inglés y al alemán, con dos partes dedicadas al Espacio y al Tiempo. Por las ideas expuestas en esta obra, algunos de nuestros protagonistas han pretendido destacar a Balmes como precursor de la relatividad, lo que en mi opinión no es correcto, porque Balmes especula a nivel exclusivamente filosófico. Sí se podría incluir a Balmes dentro del grupo de autores que, por sus reflexiones filosóficas, prepararon el camino para una revisión de los conceptos clásicos de espacio y tiempo, tanto newtonianos como kantianos. Desde un punto de vista científico y no metafísico, esta revisión sí la realizó Poincaré, filósofo y matemático francés, y al que por este motivo algunos historiadores de la Ciencia lo consideran como precursor de la física relativista, ya que Poincaré trabajó en una componente más conceptual desde el punto de vista de la Física sobre temas de relatividad de movimiento y simultaneidad del tiempo.<sup>20</sup> En cualquier caso Balmes fue profusamente “utilizado” entre los escritores tanto relativistas como antirrelativistas para apoyar sus tesis.

Balmes estaba en contra de la concepción de Kant sobre el espacio y el tiempo como intuiciones puras o formas *a priori* de la sensibilidad, ya que defiende la idea tomista del espacio y el tiempo como construcciones de la mente que han sido forjadas a partir de la realidad, en el sentido de que el espacio y el tiempo van asociados a la materia, y sin materia no hay espacio ni tiempo, planteamiento pues, contrario a la concepción newtoniana. De esta forma, el tiempo va asociado al movimiento que, a su vez, solo puede ser relativo. En definitiva, no puede haber medida del tiempo independiente del movimiento. Éste es el sentido que da Balmes al carácter no absoluto del tiempo que defiende y que no tiene nada que ver con el de la relatividad.<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> Poincaré *La Science et l'Hypothèse*, 1902 (ed. española, *La Ciencia y la Hipótesis*, Espasa, 2002); Para más información ver Antoni E. Ten i Rios “La relatividad en la obra de Henri Poincaré” en *Sobre los orígenes de la teoría de la relatividad*, edit. Llosá y Selles, ed. UCM, Madrid, 1987 y Abraham Pais *El Señor es sutil. La ciencia y la vida de Albert Einstein*, Ariel, 1984, p. 128 a 137.

<sup>21</sup> Se ha seguido Balmes, *Filosofía Fundamental*, Ed. Sopena, Argentina, 1963.

Algunos ejemplos del recurso a Balmes como apoyo a sus tesis antirrelativistas son Bruno Ibeas<sup>22</sup>, José María Goicoechea<sup>23</sup> y Teodoro Rodríguez<sup>24</sup>. Lógicamente, Luis Urbano, en su peculiar “lucha” por compatibilizar tomismo y relatividad, no podía dejar fuera del debate a uno de los máximos representantes de la neoescolástica española:

A pesar de esto, y de haberse alzado a mitad del siglo XIX la voz de Balmes, que escribió aquel hermoso y profundo Capítulo V, El tiempo no es nada absoluto, se espantan los filósofos escolásticos de hoy, cuando oyen hablar de tiempos locales y relativos, cuando se agrieta el edificio newtoniano y se robustecen las doctrinas relativistas .<sup>25</sup>

---

<sup>22</sup> Bruno Ibeas, *Las teorías de la relatividad de A. Einstein*, 1922, p. 53.

<sup>23</sup> José María Goicoechea en *Revista Calasancia*, 1923, p. 565.

<sup>24</sup> Teodoro Rodríguez, *Ciudad de Dios* vol. 35, 1923, p. 120.

<sup>25</sup> Luis Urbano. *Einstein y Sto Tomas*. 1926, pag 57.

### 2.3. EL TRATAMIENTO DE LA RELATIVIDAD EN MEDIOS RELIGIOSOS ESPAÑOLES.

Hubo en España una cierta discusión sobre la relatividad en medios eclesiásticos. Algunas revistas de orientación religiosa, asociadas a órdenes religiosos, solían publicar artículos de divulgación científica de actualidad y por lo tanto se hicieron eco de la relatividad y sus consecuencias. Hay bastantes ejemplos, especialmente durante los años principales de la recepción en España coincidentes con la visita de Einstein, con posiciones a favor y en contra de la relatividad<sup>1</sup>: en *Revista Calasancia* (de la orden de los escolapios); *Ciudad de Dios* (revista de los Padres Agustinos); *España y América* (también de los agustinos); *La Ciencia Tomista* (Dominicos), *Estudis Franciscanis* (revista de los Padres Franciscanos) y, en menor medida la de los jesuitas *Razón y Fe*. En este último caso, hay que decir que el portavoz prorelativista Enrique de Rafael era director de *Ibérica*, revista de divulgación científica sin carácter específico de tipo religioso pero publicada también bajo el auspicio de los jesuitas. También en el periódico clerical *El siglo futuro* aparecieron varios artículos contra la teoría de Einstein. Además, se publicaron libros específicos sobre relatividad desde una óptica religiosa, como los antirrelativistas *Las teorías de la relatividad de A. Einstein* (Bruno Ibeas 1922), *Relatividad y energía. Espacio y tiempo* (Pedro Nolasco de Medio, 1923), *Sobre la teoría relativista propuesta por el Dr. A. Einstein* (Ángel Rodríguez, 1923), *Relatividad, modernismo y matematicismo* (Teodoro Rodríguez, 1924) o el prorrelativista de Luis Urbano *Einstein y Santo Tomás* de 1927, que era una contestación a todos los anteriores con el objeto de demostrar la compatibilidad entre el pensamiento tomista y la relatividad. Es importante destacar que salvo Bruno Ibeas y Pedro Nolasco, el resto eran licenciados en Ciencias o doctores en Físicas.

En definitiva, entre escritores clericales hubo tanto antirrelativistas como defensores de la relatividad y, en algunos casos con argumentos de índole teológica. También hubo algunos que pertenecían a la clase científica y analizaban la relatividad desde puntos de vista tanto científico como religioso. El caso más destacado como divulgador científico sin considerar aspectos religiosos fue el jesuita Enrique de Rafael, que también escribió algún artículo en defensa de la relatividad más que por argumentos religiosos, por el hecho de que la relatividad era compatible con el pensamiento tomista. Ejemplos como De Rafael fueron un factor destacable en hacer compatible la relatividad con la ortodoxia católica, que inicialmente fue reacia por la destrucción de la física clásica basada en las concepciones absolutas de espacio y tiempo.

También en las revistas citadas hubo algunos debates en forma de artículos cruzados en cuanto a posiciones “a favor” y “en contra” basadas en argumentos teológicos. Eran frecuentes las críticas a la relatividad confundiéndola con el relativismo filosófico o la corriente modernista, rescatando antiguos razonamientos antievolucionistas que se asociaban con la relatividad, el establecimiento de límites al

---

<sup>1</sup> Para más detalle, véase Pablo Soler Ferrán, “Un aspecto de la recepción de la relatividad en España: el debate en medios religiosos” en M. Polo, coord., *Religión y Ciencia*, Universidad Castilla La Mancha, Ciudad Real, 2007, p. 57-95.



poder divino, etc, también por otro lado basadas en el resquemor hacia las modernas teorías de cualquier índole o a la influencia “extranjerizante”. En el apartado dedicado a los posicionamientos antirrelativistas del capítulo siguiente se realiza un repaso detallado de los diferentes argumentos contrarios.

Luis Urbano, en su libro *Einstein y Sto. Tomas* contestó a todos los argumentos contra la relatividad que se habían escrito por eclesiásticos. En las respuestas a los ataques, responde siempre citando la referencia exacta, haciendo además hincapié en el exceso verbal de alguno de ellos. Cita a Ibeas, a Nolasco de Medio y a Teodoro Rodríguez, con lo que curiosamente nos permite tener una visión completa del proceso de recepción de la relatividad en el ámbito religioso, no sólo español, sino también italiano y francés, ya que refiere también a varios tomistas europeos contrarios a la relatividad. Contesta a Nolasco de Medio sobre su idea de que el universo de Minkowski es una arbitrariedad. Nolasco había atacado el ejemplo de los *homoides* de dos dimensiones, tan usado para explicar el universo de Minkowski tetradimensional, como una abstracción, pero Urbano le recuerda el propio refrán escolástico “la abstracción no es mentira”.

Otro ataque usual era la supuesta contradicción del Universo como finito e ilimitado, y que estaba fuera del alcance de la razón humana deducir si el Universo es finito o infinito. Respecto a este problema, recuerda Urbano que el propio Sto Tomás demostró que metafísicamente el Universo debía ser finito, como también así lo razonaba Balmes.

Sobre la idea de que el espacio, como la manifestación externa de la Inmensidad de Dios, debe ser absoluto e inconmensurable, Urbano cita a Teodoro Rodríguez: «¿Quién ha demostrado o es capaz de demostrar semejante limitación en el poder de Dios?», y le contesta que la metafísica tomista ya afirmaba que el espacio no podía ser inconmensurable.

En cuanto al recurso a Balmes, veamos el ejemplo de José María Goicoechea, que hizo uso algún tópicos antirrelativista como confundir la relatividad einsteniana con la teoría del movimiento relativo, lo que aprovecha para considerar a Balmes como precursor de Einstein, aunque sin las consecuencias “funestas” del físico alemán. También interpreta la filosofía de Balmes como de igual validez científica que las “matemáticas tensoriales” de Einstein, lo que le vale para recuperar la idea del éter:

En la historia de la humanidad, sólo un genio existe que hace sombra a Einstein y aun aventaja en su visualidad realista del universo al sabio alemán, el gran filósofo español Balmes; en su obra *Filosofía fundamental* expone con claridad metafísica todos los principios fundamentales de la teoría de relatividad que con las matemáticas tensoriales deduce Einstein, con la agravante para Einstein, de que el sabio español no cae en los grandes errores que aquél ha sufrido en su concepción relativista: en efecto, Balmes afirma que el movimiento es una ilusión, una ficción; que el reposo y el movimiento no difieren en su característica, es decir, como dice Einstein, que las leyes físicas son invariantes y las mismas en

los dos de los cuerpos: que en el espacio no hay puntos fijos de referencia respecto del tiempo <sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> José María Goicoechea en *Revista Calasancia*, 1923, p 565.

## 2.4. LA RECEPCIÓN POPULAR DE LA RELATIVIDAD

Cuando se habla de recepción popular, para hacerlo de forma apropiada realmente hay que referirse a la recepción de la relatividad por el público instruido, ya que hay que considerar que lo mínimo era, además de saber leer, mantener un nivel medio de información sobre los asuntos de actualidad. Este requerimiento era propio de una minoría, ya que España contaba con uno de los índices de analfabetismo más altos de Europa. Una vez realizada esta aclaración, entendemos por recepción popular la divulgación en medios de difusión general como periódicos y revistas culturales, y la publicación de libros básicos de divulgación. Otros aspectos de recepción popular eran la organización de conferencias para público no especializado, así como las populares tertulias características de la España de la época, en donde se constataba la asimilación o rechazo de la relatividad por los intelectuales de diferente tipo pero sin formación científica especializada. También se puede considerar como propio de la recepción popular las implicaciones sociológicas y políticas de Einstein como científico famoso, y el impacto mediático de su figura.

Visto este fenómeno con cierta perspectiva histórica, parece pertinente la pregunta: ¿Por qué la relatividad se hizo tan *famosa* frente a otras teorías como la teoría electromagnética de la luz o la Física Cuántica, igualmente importantes? No es fácil la contestación, pero sí se pueden intuir varios motivos. Uno es la propia figura de su autor, Einstein, que resultaba singular para la época y donde se mezclaban aspectos políticos por los tiempos turbulentos que le tocó vivir y en los que fue protagonista, por su clara defensa del pacifismo en la Primera Guerra Mundial, por su oposición al nacionalismo predominante y su exilio debido a su origen judío, así como por su posterior identificación con la causa sionista. También la consideración como único creador de una teoría revolucionaria, al contrario de lo ocurrido con la Física Cuántica, producto de varios científicos, favoreció su proyección como figura mítica, ciertamente también ayudado por su propia personalidad singular. En cuanto a la teoría científica en sí, el hecho de que la relatividad tratara sobre temas comunes como el espacio y el tiempo, que están claramente asociados a nuestro sistema intuitivo, favorecía la predisposición del público a su intento de asimilación, aunque no se poseyera conocimiento especializado, aspecto éste que no ocurre con casi ninguna otra disciplina de la Física. También resultaba atractiva precisamente por su supuesta característica de incomprensible y sus conceptos asociados, que podían dar lugar a interpretaciones extravagantes, como la curvatura de la luz, la relación entre masa y energía o la dilatación del tiempo. Por último, favoreció paradójicamente el debate público y por tanto su difusión, el hecho de que entre científicos y pensadores hubiera una oposición a su aceptación, que en muchos casos se mostró con virulencia y que también estuvo relacionada con cuestiones políticas (en Alemania por el nazismo, en Francia por la reticencia a Alemania después de la Primera Guerra Mundial).

En la cuestión de las fuentes editoriales relacionadas con la recepción de la relatividad, además de los periódicos habría que considerar revistas de divulgación

científica y cultural como *Ibérica* o *Madrid Científico*<sup>1</sup> y la *Enciclopedia Universal Espasa*, que en esos años estaba en fase de publicación. Esta enciclopedia era un referente básico de la cultura editorial española y sirve perfectamente de ejemplo de cómo podían evolucionar determinados temas, ya que se fueron publicando volúmenes a lo largo de muchos años.

La mayoría de artículos sobre Física en la *Espasa* se encargaron a Terradas. Fueron apareciendo diferentes entradas en las que se mencionaba temas relacionados con la relatividad, pero la más importante fue la titulada “relatividad” en el volumen aparecido en 1923, que realmente no tuvo características divulgadoras, ya que era muy completo y en algunas partes difícil de seguir. Se comenta este aspecto en el siguiente capítulo, en el apartado dedicado a Terradas. Posteriormente a partir de los años 30 la enciclopedia reflejó cambios de apreciación respecto a la relatividad según quien escribiera los correspondientes artículos.

Ya se ha tratado anteriormente la importancia de los libros de divulgación escritos por científicos (bien originales españoles o bien traducidos), y que realmente estas obras se pueden considerar más de divulgación media que popular. Evidentemente estos términos son algo ambiguos y las fronteras difíciles de delimitar. Se pueden considerar los de divulgación básica, y por lo tanto en el ámbito de la recepción popular, aquéllos que no contenían prácticamente ningún formalismo matemático. Dos de los más famosos fueron *La teoría de la relatividad al alcance de todos* de Salvador Corbella (1921) y *Einstein y el misterio de los mundos* de Pelayo Vizuete (1924). Se publicaron traducciones como *Fácil acceso a la teoría de la relatividad (la exposición más sencilla de las revolucionarias ideas de Einstein)* de Rodolfo Lämmel (1923) o *Qué puede comprenderse sin matemáticas de la teoría de la relatividad* de Paul Kirchenberger (1923). Como vemos, los títulos son significativos sobre la orientación de estos libros.

La labor de la prensa en la divulgación popular de la relatividad fue determinante y, a los ojos actuales, sorprendente, tanto por el volumen de artículos como en algunos casos por la gran calidad, que era más propia de revistas científicas. Ejemplos hay muchos. Evidentemente influyó de forma decisiva en esta difusión el viaje de Einstein a nuestro país, que se vio reflejado en la prensa española de forma destacada, tanto durante la visita como posteriormente. Por la trascendencia del viaje a todos los niveles se trata en el capítulo siguiente, dedicado a la recepción en la comunidad científica española. Un caso interesante de difusión en la prensa española es la información de las sesiones de discusión de Einstein y Bergson en París en 1922.<sup>2</sup> De hecho hubo periodistas españoles que estuvieron presentes en las conferencias de Einstein en París. Como vemos no sólo en España se hablaba sobre relatividad sino también sobre el impacto en los países vecinos.

Son conocidos algunos ejemplos que reflejan la resonancia de la figura de Einstein en la prensa española. Uno de ellos con connotaciones inicialmente políticas, pero que

<sup>1</sup> Sobre el tratamiento de la relatividad en *Madrid Científico* véase Otero Carvajal, "Madrid científico: relatividad y relativismo en España", *Alfoz*, v 66-67, 1989, p 33-48.

<sup>2</sup> Diario *El Sol*, 11-4-1922 y 14-4-1922, según información extraída de Glick, 1986, p. 57; Miguel Masriera, diario *La Vanguardia*, 7-1-1925, 15-1-1925 y 4-2-1925, según Glick, 1986, p. 205.

derivaron en el interesante asunto del carácter revolucionario de la relatividad, es la siguiente anécdota que dio origen a un malentendido: Einstein fue presentado, en una entrevista con motivo de su visita a España, como un revolucionario científico que apoyaba también posturas políticas revolucionarias<sup>3</sup>. Einstein posteriormente aclaró que en política no lo era (por considerarse aunque izquierdista, de tendencia moderada) pero que ni siquiera en Ciencia, ya que entendía la relatividad como una extensión o culminación de la física de Galileo y Newton.<sup>4</sup> Esta idea enlaza con el pensamiento de Levi-Civita al respecto, interesante aspecto que se debatió en Italia y del que apareció un trabajo del matemático italiano en la *Revista Matemática Hispanoamericana*. Como parte de la contribución de los matemáticos a la difusión de la relatividad se analiza en detalle en el capítulo tres.

Otro ejemplo es un artículo publicado en *La Vanguardia* el 29 Octubre de 1925 por el físico Miguel Masriera que refiere una carta que le envía Einstein a él mismo el 7 de Octubre y que transcribe con traducción suya. Einstein contestaba a un argumento que expuso Masriera en varios artículos del mismo periódico sobre la crítica Bergsonianana de la relatividad. Masriera señala también que Weyl le escribió una carta sobre sus opiniones, que eran coincidentes con las de Einstein.

En España se repitieron tópicos en la recepción de la relatividad a nivel internacional como el debate sobre la incomprensibilidad, la utilidad práctica, la figura de Einstein y la importancia de su viaje, los interpretaciones erróneas confundiendo relatividad con relativismo, etc.

Respecto al debate de la incomprensibilidad se reprodujeron frases acerca de que todo el mundo admiraba a Einstein, pero pocos sabían por qué. También la idea del carácter ininteligible de la relatividad, así como su falta de aplicación práctica, fue usada como arma por los antirrelativistas. Relacionado con el problema de la dificultad de la teoría y también con las interpretaciones erróneas que se producían, parte de la literatura periodística era de carácter humorístico e incluso se hicieron bastantes viñetas cómicas. A este tratamiento también ayudó la característica personalidad de Einstein. Aunque para el objeto de este trabajo no tiene un interés especial profundizar en este aspecto, sí conviene constatarlo como ejemplo de la variedad de tratamientos que permitía la relatividad en el ámbito popular y que, en cierta medida, también ayudaban a la difusión por su significación social más que puramente científica.

La personalidad y fama de Einstein aumentaron el interés por la relatividad y a nivel popular se mezclaban fenómenos de divulgación de la teoría científica con la popularidad de su creador. En España se repitieron también los patrones en cuanto a la atención dada a la figura de Einstein, salvo en el hecho de que fuera judío, aspecto que prácticamente no se comentó ni generó ninguna polémica, al contrario de lo que ocurrió en otros países como Francia o Alemania. En este sentido hay que señalar el tratamiento afectuoso que le dio la opinión pública próxima a corrientes políticas izquierdistas. También en este aspecto hubo algún malentendido, como el ya citado sobre el hipotético apoyo de Einstein a causas revolucionarias. Pero en líneas

---

<sup>3</sup> Diarios *El Diluvio* y *El Noticiero Universal*, 28-2-1923, según Glick, 1986, p. 70.

<sup>4</sup> Diario *ABC*, 2-3-1923.

generales en España no hubo debate político sobre las ideas tanto científicas como de otra índole de Einstein (recordemos por otro lado que dos de los principales divulgadores de la relatividad, Terradas y Plans eran católicos conservadores, lo que sin duda ayudó a alejar el debate de la asimilación de la relatividad de cuestiones ideológicas, aspecto que no ocurrió con el darwinismo). Sí hubo un cierto nivel de debate en medios religiosos, como ya se ha visto, relacionado con la confusión de la nueva física con el relativismo filosófico.

Un aspecto asociado a la llegada de Einstein a España fue el replantear la discusión pública sobre el papel de la ciencia española en la sociedad y el carácter esperanzador que surgía como consecuencia del tratamiento de las nuevas ideas científicas, como la relatividad. Por ejemplo, con el caso de la relatividad se constató que en España ya no se recibían con retraso las novedades importantes del desarrollo científico. Otro aspecto más dudoso era la importancia que se otorgaba en España a la ciencia pura sin buscar aplicaciones prácticas. Aunque es evidente que con la llegada de Einstein se acrecentó la necesidad de aumentar los esfuerzos en la ciencia teórica, no parece que tuviera una influencia determinante (quizá porque esa evolución se comprueba a más largo plazo y el progreso científico español se vio truncado con la Guerra Civil). Un hecho importante respecto a la política científica en la década de los 30 fue la propuesta a Einstein de una cátedra extraordinaria en la Universidad de Madrid que finalmente no prosperó.<sup>5</sup>

En la recepción popular de la relatividad por personas no científicas pero destacadas en su disciplina, bien fueran artistas, filósofos o intelectuales con mayor o menor influencia se dio un tipo de aproximación a la nueva física de forma desarticulada; es decir, mezclando elementos relevantes de la teoría con otros de su propio contexto que ayudaban en líneas generales a difundir la relatividad en los ambientes de los que eran protagonistas y que a veces estaban interrelacionados. Ejemplos claros son las tertulias organizadas por personalidades como Ortega o Ramón Gómez de la Serna, con una cierta influencia y en las que también participaban científicos. Como es conocido, el mundo de las tertulias era característico del perfil cultural de la época en España.

Otros casos interesantes para profundizar, aunque se escapan al alcance de este trabajo, y se han citado como ejemplos de la recepción de la relatividad en otros ámbitos culturales, son la posible influencia en figuras españolas destacadas del arte como Dalí y Picasso. Es conocido que Dalí se sintió interesado por la ciencia moderna, especialmente por el psicoanálisis y la nueva física cuántica y relativista, que consideraba transgresoras del sentido común. De hecho su cuadro "La persistencia de la memoria" (1931), popularmente conocido como los relojes blandos, es considerado como un icono de la teoría de la relatividad.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Este acontecimiento se trata con profundidad en Sánchez Ron y Glick, *La España posible de la Segunda República: la oferta a Einstein de una cátedra extraordinaria en la Universidad Central de Madrid en 1933*, Madrid 1983.

<sup>6</sup> Mónica López Ferrado, "La obsesión de Dalí por la ciencia", *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*; casa de Oswaldo Cruz, Río de Janeiro, vol 13, suplemento, 2006, págs 125-131.

En cuanto a Picasso, aunque no ha trascendido el posible interés del pintor por la física de Einstein, recientemente Miller, en *Einstein, Picasso; Space, Time and the Beauty That Causes Havoc* (Nueva York, 2001), defiende la influencia de la relatividad en el cubismo picassiano.

Uno de los ejemplos más característicos del impacto popular de la relatividad y la figura de su creador es el tratamiento humorístico en la prensa española, incluso con chistes gráficos, aspecto que ha sido tratado en detalle por Glick en *Einstein y los españoles* (1986)<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Glick, 1986, epígrafes “Einstein y los humoristas españoles” y “relatividad pop” (págs 256-264).

### **3. LA RELATIVIDAD EN LA CIENCIA ESPAÑOLA (1908-1936)**

En el capítulo anterior se ha realizado una aproximación al proceso de recepción de la relatividad en la ciencia española, que facilita una visión general del mismo. Conviene ahora analizar en detalle los hechos que determinan el desarrollo de dicho proceso. Como se ha indicado en las consideraciones metodológicas para la realización de este trabajo, dicho análisis se centra en las publicaciones científicas especializadas, como son las relativas a Física, Astronomía y Matemáticas, así como en libros completos elaborados por científicos.

En el proceso de recepción de la relatividad en España he considerado dos fases. Una primera donde aparecen las primeras referencias, desde 1908 hasta 1911, y en la que todavía se interpreta la relatividad de forma incompleta. Este período se analiza en el apartado siguiente. En los sucesivos apartados se tratan los diferentes posicionamientos ante la relatividad a partir de 1912.

#### **3.1. PRIMERAS REFERENCIAS.**

Las primeras referencias sobre relatividad en España datan de 1908, lo que es significativamente pronto y una característica clara del comienzo de la modernización de la ciencia española, cuanto menos en lo concerniente a la asimilación de información científica especializada.

Efectivamente, en este año intervienen Blas Cabrera y Esteban Terradas en el congreso de la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, celebrado en Zaragoza en Octubre de 1908. Los discursos de Cabrera, "La teoría de los electrones y la constitución de la materia"<sup>1</sup>, y Terradas, "Teorías modernas acerca de la emisión de la luz"<sup>2</sup>, trataron sobre asuntos relacionados con los artículos de Einstein de 1905. Se publicaron en las actas del congreso en 1909. En Marzo de 1909, Terradas realiza otro discurso en la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, en su acto de recepción como miembro de la misma, que trata sobre la emisión de radiaciones por cuerpos fijos o en movimiento, asunto evidentemente relacionado con la relatividad.

En 1909 y 1910 aparecieron varias reseñas en los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química* en los que también se hacía referencia a la teoría de la relatividad. Las reseñas de otros artículos o conferencias estaban incluidas en la sección de "Notas alemanas de Física".

Fijémonos que en estos años todavía está en preparación la Teoría General de la Relatividad y la Teoría Especial no había conseguido, ni mucho menos, acuerdo

---

<sup>1</sup> Blas Cabrera, "La teoría de los electrones y la constitución de la materia", (sesión de 26-10-1908). *Actas de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*. Congreso de Zaragoza 1908, tomo III, sección ciencias físico-químicas, Madrid, 1909, p. 259-290.

<sup>2</sup> Esteban Terradas, "Teorías modernas acerca de la emisión de la luz", (sesión de 27-10-1908), *Actas de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*. Congreso de Zaragoza 1908, tomo III, sección ciencias físico-químicas, Madrid, 1909, p. 291-312.



general. Por lo tanto, los anteriores escritos aparecidos entre 1909 y 1910 tienen un indudable interés histórico para la ciencia española, por lo que parece pertinente analizar dichos textos para comprobar el nivel de comprensión de la reciente relatividad especial.

Antes de analizar en detalle estas referencias pioneras, se hace necesario realizar unas consideraciones previas sobre el problema de la correcta interpretación de la relatividad, ya que está relacionado con las posturas iniciales de Cabrera y Terradas y su posterior evolución respecto a la relatividad.

Podemos distinguir dos formas diferentes de interpretación de la relatividad especial

- Como mera parte de la electrodinámica, es decir como teoría electromagnética.
- Como teoría completa que incluye los principios cinemáticos y extensión a las teorías de la dinámica en todos sus aspectos, es decir generalización a todas las leyes físicas. Es la propia visión de Einstein, Planck, Minkowski y, en general, los relativistas.<sup>3</sup>

Un ejemplo de la primera interpretación es el de Lorentz durante años hasta su aceptación completa al final de su vida, del físico Abraham, el filósofo de la ciencia Bunge y de Whittaker (autor del famoso *A History of the Theories of Aether and Electricity*) y, en general, de muchos científicos en una primera fase de aceptación de la relatividad, previamente a asumirla como teoría completa. En España, el ejemplo más claro fue el de Cabrera como veremos posteriormente. Primero interpretó la relatividad como una aplicación exclusivamente del electromagnetismo y posteriormente la asumió para la cinemática y dinámica con todas las implicaciones asociadas.

Esta interpretación electromagnética era inicialmente de alguna manera lógica ya que, en palabras de Sánchez Ron:

Es importante darse cuenta de que la visión electromagnética de la naturaleza representaba una declaración programática en física, pedía la concentración de esfuerzos en aquellos problemas (por ejemplo, la explicación de la masa inercial como puramente electromagnética) cuya solución contribuyese a consolidar una física basada únicamente en leyes y conceptos electromagnéticos. La electrodinámica de Maxwell, completada con la teoría del electrón de Lorentz, fue instrumental en el desarrollo de esta concepción de la naturaleza, en el sentido de que la originó, proporcionándole al mismo tiempo el necesario formalismo analítico.<sup>4</sup>

Era en cierta medida lógica esta primera interpretación como teoría de la electrodinámica (no olvidemos el título del artículo de Einstein, *Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento*, que dio origen a la nueva teoría) porque uno de los problemas principales era cómo encontrar unas ecuaciones de

---

<sup>3</sup> Esta idea es de Sánchez Ron (*El origen y desarrollo de la relatividad*, 1985, p. 79 a 90), quien considera que los científicos asociados a la primera interpretación no habían comprendido en toda su significación el principio de relatividad de Einstein.

<sup>4</sup> Sánchez Ron, *El origen y desarrollo de la relatividad*, 1985, p. 82.

transformación que hicieran invariante la forma de las ecuaciones de Maxwell y la de propagación de ondas electromagnéticas. El que Einstein usara estas transformaciones como principio cinemático no era tan evidente para los científicos que se aproximaban a la teoría por primera vez, más cuando la idea del éter impregnaba su interpretación de la Física. En definitiva, era lógico que inicialmente muchos científicos no distinguieran entre la relatividad einsteniana y la electrodinámica de Maxwell y teoría del electrón de Lorentz. Planck fue de los pocos que no pasó por esa transición e interpretó correctamente la relatividad desde sus comienzos, escribiendo en 1909 “el significado del principio de relatividad se extiende, no sólo a fenómenos ópticos y electromagnéticos, sino también a todos los procesos de la mecánica ordinaria”.<sup>5</sup>

Este aspecto de la interpretación está relacionado con el hecho de que, inicialmente, algunos científicos, como Minkowski, consideraran a Lorentz y Einstein como coautores de la relatividad. Este aspecto más tarde se aclaró, no quedando duda, por parte de la comunidad científica, sobre la total autoría de Einstein en el origen de la relatividad especial, una vez interpretada correctamente en sus principios. Recordemos que Minkowski murió en 1909.

También es importante el estudio sobre si las ecuaciones de transformación de Lorentz se pueden obtener sin el postulado de la constancia de la velocidad de la luz. Si fuera así se verificaría lo incorrecto de una interpretación exclusivamente electrodinámica. Esto lo consiguió en 1909 el matemático ruso Ignatowsky<sup>6</sup>, a partir del principio de relatividad, de la isotropía del espacio (es decir considerar que todas las direcciones espaciales son equivalentes) y de la homogeneidad del espacio y el tiempo (que sus propiedades sean independientes del punto origen de medición). De esta manera, con este conjunto de axiomas se obtenía toda la cinemática relativista sin relación con la electrodinámica (que sí aparecía partiendo del postulado de la constancia de la velocidad de la luz, es decir de la propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío), y así se podía considerar como una consecuencia de la estructura geométrica del espacio-tiempo. Evidentemente, para esta interpretación también influyó la de Minkowski en 1908, es decir la formulación geométrica cuatridimensional de la relatividad. También se realizaron las deducciones de las transformaciones de Lorentz desde criterios propios de la Mecánica, como las leyes de conservación de masa, energía y momento asociadas con el principio de relatividad.

Una vez realizadas estas consideraciones previas, veamos el pensamiento inicial de Cabrera y Terradas respecto a la relatividad. El discurso de Cabrera de 1908, citado anteriormente, se centra principalmente sobre electromagnetismo, teoría del electrón y propagación de la luz, así como en los intentos de detección del movimiento absoluto. Tratando aspectos sobre la relatividad einsteniana, pertenece al prototipo de interpretación limitada de la relatividad como exclusivamente electromagnética, sin considerar sus aspectos cinemáticos y sin plantear tampoco el abandono de la

---

<sup>5</sup> Planck, *Right Lectures on Theoretical Physics*, Columbia, 1909 (Según referencia de Sánchez Ron, 1985, p. 89).

<sup>6</sup> Información obtenida de Sánchez Ron, 1985, p. 89.

hipótesis del éter. Aún así, Cabrera era consciente de la crisis en la que se hallaba la Física clásica, como demuestran las siguientes palabras:

Todos estos resultados experimentales parecen demostrar el arrastre completo del éter por la materia en movimiento, en contra de lo que la aberración astronómica y los experimentos de Fizeau, Michelson y Morley y Lodge ponen de manifiesto. Es cierto que Larmor ha conseguido explicar la incapacidad de denunciar el movimiento absoluto de la materia por los métodos indicados, hasta los términos de segundo orden en  $v/c$ ; pero como ha hecho observar Poincaré, es difícil, después de los resultados indicados, substraerse a la idea de que, cuantas nuevas tentativas se hagan con el fin de lograr la determinación del movimiento absoluto, han de verse coronadas por la misma decepción, y siguiendo por idénticos derroteros, a cada perfeccionamiento de los métodos y aparatos de observación, ha de seguir la introducción de nuevas hipótesis, con el fin de anular los términos del orden correspondiente en las ecuaciones.

Es, pues, menester una teoría más general, que de una vez dé razón de la impotencia de los métodos experimentales puestos en uso, sea cual fuere su sensibilidad. Tal objeto fue logrado por Lorentz y confirmado más tarde por Poincaré y Einstein, mediante un cambio conveniente de variables.<sup>7</sup>

A continuación Cabrera expone la deducción de las ecuaciones de transformación entre sistemas inerciales, que él denomina de Lorentz-Einstein, si bien no hace ninguna alusión a la trascendencia real de dichas transformaciones.<sup>8</sup> En este texto de Cabrera se constata su interés por la evolución histórica de los temas que trata, que culminará en su libro de 1923, *Principio de relatividad. Sus fundamentos experimentales y filosóficos y su evolución histórica*, que se analizará más adelante.

De la conferencia de Terradas en el mismo congreso de 1908 se puede concluir una interpretación similar a la de Cabrera. En un apartado dedicado íntegramente al principio de relatividad, señala

Fresnel admitió para explicar el resultado de los experimentos de Fizeau sobre el retraso o adelanto que en su velocidad experimenta un rayo lumínico al propagarse en el seno de un medio en movimiento, que el éter era arrastrado por aquél, deduciendo de sus puntos de vista teóricos una fórmula de acuerdo con la experimentación. Lorentz llegó a la misma fórmula valiéndose de su teoría de los electrones y suponiendo al éter en reposo, teoría que dio cuenta de la aberración y del principio de Doppler. El resultado negativo de los experimentos de Michelson y Morley le condujo, con FitzGerald, a suponer que los cuerpos se acortan en el

---

<sup>7</sup> Blas Cabrera, "La teoría de los electrones y la constitución de la materia" (sesión de 26-10-1908 del Congreso de la Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias). *Actas Asoc. Esp. Progreso Ciencias*, 1909, p 270 y 271.

<sup>8</sup> Es un ejemplo más de lo que Sánchez Ron trata en su obra *El origen y desarrollo de la relatividad*, en el apartado "El verdadero significado de la teoría de la relatividad especial", al comentar que la relatividad solía interpretarse como una teoría de invarianza electrodinámica, cuando realmente lo era de todas las facetas de la física, obteniéndose desde principios cinemáticos y no sólo electromagnéticos como había hecho Lorentz.

sentido del movimiento, y el de los experimentos de Lord Rayleigh y Brace a suponer que son deformables los electrones supuestos inicialmente esféricos, acortándose el diámetro cuya dirección coincide con la del movimiento; hipótesis modificadas por Bucherer, que admite que en la deformación permanece inalterable el volumen de los electrones, y puestas en duda por Abraham, que prefiere suponerlos indeformables.

No es mi propósito comparar estas teorías, que hemos oído de labios de mi querido ex Profesor e inteligente amigo, Sr. Cabrera, y si las cito es para indicar que referidas las ecuaciones electromagnéticas fundamentales de Lorentz al cuerpo en movimiento, e introduciendo el llamado tiempo local, la forma de las ecuaciones es igual que la de las que se refieren a cuerpos en reposo. De esta noción de tiempo local nació el principio de relatividad, que expresa que las leyes que siguen los fenómenos electromagnéticos son independientes de los ejes de referencia, suponiéndolos animados de un movimiento de traslación respecto a ejes fijos.<sup>9</sup>

Lo destacable de este párrafo es que muestra que Terradas, independientemente de haber comprendido el alcance real del principio de relatividad, que parece que no, era consciente, como Cabrera, de la situación de crisis en la física y conocía el estado de la misma. Como su colega, todavía no comprendía el carácter completo del principio de relatividad, pero era consciente de la importancia del mismo, del que destaca, como una consecuencia, la necesidad de atribuir inercia a la energía. Interesa resaltar que para Terradas, Einstein figura como un autor más del principio de relatividad, junto con Lorentz, Poincaré, Laub y Minkowski:

...permítasenos encarecer la extraordinaria importancia del mismo (el principio de relatividad), que ha venido a derramar mucha luz sobre la compleja cuestión de la Electrodinámica de cuerpos móviles. En otra publicación que en alguna revista profesional haga de estas teorías<sup>10</sup>, procuraré exponerlo con todo pormenor y claridad; sólo diré ahora que el principio descubierto por Lorentz, fue deducido nuevamente y completado por Einstein, el cual, con Laub, han hecho modernamente aplicación del mismo para establecer las leyes más generales de la Electrodinámica, llegando a las ecuaciones deducidas por primera vez por el matemático Minkowsky. Además Poincaré ha relacionado este principio con la teoría de grupos.<sup>11</sup>

Según se ve, en 1908 Cabrera y Terradas, conociendo el principio de relatividad, no tenían asumida su auténtica significación como teoría global, no distinguiendo entre la teoría de Lorentz y Einstein, es decir sólo lo interpretaban como principio de validez para la electrodinámica. En el caso de Cabrera era más patente su visión mecanicista apegada a la hipótesis del éter. Esta idea de no otorgar la prioridad exclusivamente a

---

<sup>9</sup> Esteban Terradas, "Teorías modernas acerca de la emisión de la luz" (sesión de 27-10-1908 del Congreso de la Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias), *Actas Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias*, 1909, p 304.

<sup>10</sup> No se llegó a publicar lo anunciado por Terradas.

<sup>11</sup> Esteban Terradas, "Teorías modernas acerca de la emisión de la luz" (sesión de 27-10-1908 del Congreso de la Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias), *Actas Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias*, 1909, p 305 y 306.

Einstein era un síntoma claro de no haber captado el principio de relatividad en toda su extensión. Más tarde, en 1912, Terradas solventaría esta carencia, como se verá más adelante.<sup>12</sup>

En la exposición de Terradas de 1909 leída con motivo de su recepción en la *Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*<sup>13</sup>, realiza un desarrollo matemático bastante completo de la relatividad, aunque se observa que ésta sigue interpretándola electrodinámicamente, cuando al enunciar el principio de relatividad lo hace de la forma siguiente

El principio de relatividad expresa que las leyes que siguen los fenómenos electromagnéticos son independientes de los ejes de referencia suponiéndose animados de un movimiento de traslación respecto a ejes fijos.<sup>14</sup>

Fijémonos que Terradas se refiere exclusivamente a las leyes del electromagnetismo. Pero a pesar de las similitudes con su anterior discurso, parece que Terradas se sitúa un paso por delante de Cabrera en lo concerniente a la hipótesis del éter. En principio, por la forma de exponer la teoría de la radiación, parece mantener dicha hipótesis, pero al final del artículo plantea el éter como vacío. Probablemente sea la primera vez en España que se postula el éter asociándolo al vacío. Dice así Terradas al respecto:

El principio de relatividad es universalmente admitido y la base de la Electrodinámica. Lorentz y Eisenstein<sup>15</sup> lo aplicaron a la determinación de las ecuaciones transformadas de las de Maxwell-Hertz para el caso de propagarse la radiación en el vacío ó éter.<sup>16</sup>

El otro bloque de primeras referencias apareció en 1909 en la sección "Notas alemanas de Física" de los *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*. Esta sección consistía en reseñas de artículos o conferencias publicados en las revistas alemanas de física, que encargaron los responsables de los *Anales* a un científico alemán, Mecklenburg.

Sin duda, estas notas marcan, junto con las conferencias de Cabrera y Terradas de 1908, el comienzo de la introducción en España de la relatividad. La primera reseña de las "Notas alemanas de Física" que trata sobre relatividad es sobre un discurso de Bucherer<sup>17</sup> acerca de la medición de la desviación de rayos luminosos en un campo magnético, que fue realizada por Kaufmann y que aparentemente refutaba el principio de relatividad. En la reseña, Mecklenburg concluye que los resultados experimentales del propio Bucherer verifican dicho principio.

---

<sup>12</sup> El tema de la prioridad en relatividad especial lo trata en profundidad Abraham Pais, en *El Señor es sutil. La ciencia y la vida de Albert Einstein*, (Ariel, 1984), otorgándosela a Einstein. Más tarde Julio Palacios también pondría en cuestión la prioridad de Einstein, como veremos en el capítulo 4.

<sup>13</sup> Esteban Terradas. "Sobre la emisión de radiaciones por cuerpos fijos o en movimiento" *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, Barcelona, 1909, Tomo VII, p. 419 a 462.

<sup>14</sup> Terradas, *Ibidem*, p. 451.

<sup>15</sup> (*sic*), suponemos es un error tipográfico, no del propio Terradas.

<sup>16</sup> Terradas, "Sobre la emisión de radiaciones....." *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 1909, Tomo VII, p. 462.

<sup>17</sup> *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, Sección "Notas alemanas de Física", Vol 7 1909, p. 27.

En el mismo volumen de 1909 se citan noticias dadas por Max Planck acerca del problema del principio de acción y reacción de la dinámica y del problema de la cantidad de movimiento según la teoría de la relatividad.<sup>18</sup> También sobre una conferencia de Max Born "La dinámica del electrón en la cinemática del principio de relatividad"<sup>19</sup>. Pero el caso más destacado del que se hace eco Mecklenburg es el de la famosa conferencia de Minkowski, "Espacio y tiempo"<sup>20</sup>, de la que destaca su trascendencia. Recordemos que Minkowski en 1907 identificó las transformaciones de Lorentz como pseudo rotaciones para las cuales la expresión  $\sum x_i^2$  era un invariante (es decir  $x^2+y^2+z^2+l^2$  donde  $l=ict$ ). En 1908 Minkowski dio su famosa conferencia "espacio-tiempo" y poco después presentó las ecuaciones de Maxwell y su transformación en forma tensorial. También apuntó el problema de la inadecuación de la gravitación newtoniana desde la teoría relativista. En definitiva Minkowski logró una simplificación formal de la relatividad, que el propio Einstein reconocería más tarde como muy importante para la génesis de la relatividad general.

En 1910, en la misma sección de "Notas alemanas" aparece un amplio resumen de una conferencia de Einstein titulada "Sobre la esencia y constitución de la radiación".<sup>21</sup> Mecklenburg trata extensamente dicha conferencia y se refiere a Einstein como el "autor de la famosa teoría de la relatividad acerca del desarrollo de nuestras hipótesis de la íntima esencia y la constitución de la radiación". Se detallan las explicaciones de Einstein para defender la necesidad de renunciar a la teoría del éter,

La teoría de la relatividad, dice Einstein, ha modificado nuestro modo de considerar la naturaleza de la luz, pues no toma teóricamente la luz por una serie de estados de un medio hipotético, el éter, sino por una existencia autónoma e independiente de la materia.<sup>22</sup>

Otra reseña interesante de Mecklenburg aparecida en los *Anales* es sobre un trabajo de Sommerfeld acerca de la composición de las velocidades en la relatividad.<sup>23</sup> Es un estudio en el que concluye que para la composición de velocidades en relatividad ya no vale la trigonometría plana sino que se debe usar la esférica. Se basa en las deducciones de Minkowski, en las que se consideran las transformaciones de Lorentz-Einstein como una rotación en el espacio y el tiempo, es decir como una transformación pero en una variedad tetradimensional en la que la cuarta dimensión es también una longitud de la forma  $ict$ .

En definitiva, todas las primeras referencias sobre relatividad son favorables a la misma. Es indudable la importancia de este factor en la aceptación general de la teoría de Einstein entre los científicos españoles. En estos años sólo hubo una excepción, la de Echegaray (1832-1916), más que por oponerse expresamente, por mantenerse fiel a la Física del siglo XIX, el éter, y la física del "sentido común". En 1910, en el discurso de contestación a Blas Cabrera con motivo de su recepción en la *Real Academia de*

---

<sup>18</sup> *Ibidem*, 1909, Vol 7, p. 72.

<sup>19</sup> *Ibidem*, 1909, p. 178.

<sup>20</sup> *Ibidem*, 1909, vol. 7, p. 177. Cita la referencia de la publicación sobre la conferencia de Minkowski en *Phys. Zeitschrift*, 1909.

<sup>21</sup> *Ibidem*, 1910, vol. 8 p. 287-289.

<sup>22</sup> *Ibidem*, 1910, vol. 8 p. 288.

<sup>23</sup> *Ibidem*, Vol. 8 p. 387.

*Ciencias de Madrid*, de la que precisamente era presidente, defiende la física del “sentido común” y afirma respecto a la abstracción matemática de los fenómenos físicos

Lo he dicho en alguna ocasión, y aquí, aunque con más timidez, me atrevo á<sup>24</sup> repetirlo: La Ciencia, aún la más sublime, no es otra cosa que sentido común á alta presión.<sup>25</sup>

Y cuando repasa los logros de la Física sostiene que

Eran sueños gloriosos, y que, digamos lo que sentimos, al despertar no se han desvanecido por completo, que la Ciencia del siglo XIX no ha sido sueño de una noche de descanso, sino jornada sublime hacia la verdad.<sup>26</sup>

Frente al éxito experimental de la física basada en el mecanicismo, alerta Echegaray sobre la nueva física (sin concretar respecto a la relatividad, que no la cita, sólo anunciando los problemas planteados por Lorentz y Poincaré)

Y, sin embargo, las nuevas teorías desde Maxwell á Larmor, dígase lo que se quiera, están cuajadas de hipótesis, como si el idealismo tomara nuevas fuerzas en las mismas ruinas que sobre él se pretenden amontonar.<sup>27</sup>

Ya en 1905 Echegaray daba muestras de un gran conocimiento sobre la crisis de la física mecanicista, apoyándose en los recientes trabajos de Poincaré al respecto. Destaca las referencias al libro del científico francés *Le Science et l'hypothese*, de 1902 (que en España aparecería muy pronto, en 1907), donde Echegaray valora, de forma ambigua ciertamente, las hipótesis de Poincaré sobre la ficción del espacio y tiempo absolutos<sup>28</sup>. Desde 1902 Echegaray venía mostrando su preocupación por la situación de crisis de la mecánica clásica, con un artículo denominado “Mecánica, hipótesis, crítica”<sup>29</sup>, donde, por ejemplo, señala los problemas suscitados por el doble carácter del concepto de masa, como masa inerte y como masa “activa” (gravitatoria), así como las dificultades de conciliar las teorías de Maxwell con “el sistema clásico de la Mecánica”. En 1903, en un trabajo continuación del anterior<sup>30</sup>, resalta la trascendental importancia de la obra de Poincaré recién aparecida en Francia, anteriormente mencionada, en especial la hipótesis de “la constancia de las leyes naturales”, aunque todavía no reflexiona sobre el carácter absoluto o relativo del espacio y el tiempo como sí hace en 1905 en su discurso “La ciencia y la crítica”.

En estos años, la referencia más profunda sobre el libro de Poincaré, *Le Science et l'hypothese*, es la del catedrático de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza José Ruiz-Castizo Ariza, quien en un discurso de inauguración del año

---

<sup>24</sup> En esa época se acentuaban las vocales sueltas.

<sup>25</sup> Echegaray, “Discurso de contestación a Blas Cabrera” en “Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la recepción pública del Sr. D. Blas Cabrera y Felipe el día 17 de Abril de 1910”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, 1910, p. 80.

<sup>26</sup> *Ibidem*, p. 97.

<sup>27</sup> *Ibidem*, p. 102.

<sup>28</sup> Echegaray, “La ciencia y la crítica. Discurso de inauguración del curso académico 1905-1906 en la Universidad Central”, Madrid, 1905. Aparece en Sánchez Ron, ed. *José Echegaray*, Fundación Banco Exterior, Madrid, 1990.

<sup>29</sup> Echegaray, “Mecánica, hipótesis y crítica”, *Nuestro Tiempo*, v II, Enero-Junio 1902, p 918-928.

<sup>30</sup> Echegaray, “La crítica en Matemáticas”, *Nuestro Tiempo*, año III, Enero-Junio 1903-I, p 17-30.

académico 1903-1904 se hace eco de las ideas de Poincaré, a las que denomina teorías relativistas, reconociendo el mérito del científico francés en su crítica a la mecánica clásica y en la elaboración de hipótesis como la del "principio de independencia" (refiriéndose al de relatividad)<sup>31</sup>. Aun con todo Ruiz-Castizo se postula claramente en defensa del espacio y tiempo absolutos por ser esta interpretación la única que se pueden aplicar al mundo material y, en definitiva, a la mecánica.

En los últimos años de su vida, Echegaray mencionó expresamente la relatividad en un escrito sobre la crisis de la física prerrelativista, denominado "Serie de negaciones"<sup>32</sup>. Al plantear los problemas de la física como una serie de negaciones de la física clásica, dice Echegaray

Para poner hoy a término a esta lista señalaremos uno de los problemas más profundos que se agitan a la hora presente: el *problema de la relatividad*, y la negación de la Cinemática clásica, por ejemplo, los admirables atrevimientos de Einstein.

Queden todos estos problemas para más delante. Pero agregaremos para terminar que, por graves que sean los riesgos, la vieja Mecánica, a nuestro entender, escapa de todos ellos, siempre que  $v$ , como hemos dicho, no sea comparable a  $c$ . La ciencia del siglo XIX será siempre el primer término, y el más importante, de una serie de aproximaciones: las teorías modernas serán el segundo término, y los más recientes el tercero, en tanto que la ciencia futura constituirá los restantes. (..)

Para terminar: la Mecánica, la Física matemática, la Ciencia clásica, están en un periodo de crisis: Poincaré lo ha dicho. Pero esta crisis no es una crisis de muerte, es una crisis de vida nueva. Las agitaciones prodigiosas del periodo que atravesamos no son los últimos temblores de la agonía, sino los movimientos poderosos del parto.<sup>33</sup>

Como vemos, reiteradamente mencionó Echegaray la obra de Poincaré, al que admiraba profundamente. Uno de los aspectos más directamente relacionados con la relatividad que citó Echegaray fueron las referencias a Abraham y Lorentz sobre la posibilidad de la variación de la masa electromagnética con la velocidad.<sup>34</sup> Por lo tanto, en rigor, estas referencias de Echegaray no se pueden incluir en el grupo de las primeras sobre relatividad, sino más bien sobre los antecedentes de la misma.<sup>35</sup>

Igualmente hay que destacar una publicación del astrónomo Luis Rodés en 1911 en la que realiza un repaso histórico sobre la hipótesis del éter. Aunque no cita a Einstein ni la relatividad, se hace eco de la crisis de la física del momento, citando también a Poincaré, la hipótesis de la contracción de los cuerpos por parte de Fitzgerald y

<sup>31</sup> Ruiz-Castizo Ariza, José; *Sobre las hipótesis que sirven de fundamento a la Mecánica racional* (Discurso leído en la Universidad de Zaragoza en la solemne apertura del curso académico de 1903 a 1904, 1 de octubre de 1903), Zaragoza, 1903.

<sup>32</sup> Echegaray, "Serie de negaciones", *Madrid Científico*, año XXII, nº 849, 1915, p.341 a 346.

<sup>33</sup> *Ibidem*. Aparece en Sánchez Ron, ed. *José Echegaray*, Fundació Bamco Exterior, Madrid, 1990, p. 353.

<sup>34</sup> *Ibidem*, p. 352.

<sup>35</sup> Para más información sobre Echegaray ver Alfonso Hernando, "Orientaciones científicas y filosóficas de Echegaray y Cabrera ante la crisis de la Ciencia clásica en *Actas del I simposio "Ciencia y técnica en España de 1898 a 1945: Cabrera, Cajal, Torres Quevedo"*, Amigos de la Cultura Científica, 1999; y Sánchez Ron, *José Echegaray*, Fundación Banco Exterior, Madrid, 1990.



Lorentz. Es un riguroso estudio del origen y desarrollo de la idea del éter, sobre la que no toma partido, aunque plantea que puede ser una mera concepción ficticia.<sup>36</sup>

Por último, resulta muy interesante un trabajo de Pérez del Pulgar en 1907, en el que, sin citar la relatividad, plantea la posibilidad de aplicar las geometrías curvas a la ciencia de la mecánica. Demuestra también tener conocimiento de las ideas de Poincaré, que como sabemos, son un claro referente para los orígenes de la relatividad especial.<sup>37</sup>

Efectivamente, un año antes de las primeras referencias explícitas en España a la relatividad, Pérez del Pulgar publica *La teoría del potencial y la curvatura del espacio*, (Madrid, 1907)<sup>38</sup>. Aunque realmente no cita nada sobre relatividad y su propuesta no se puede decir que sea una teoría sobre el principio de relatividad, del que en España se tenía noticias por los trabajos de Poincaré, como he comentado, Pérez del Pulgar anticipa algunos de los aspectos fundamentales de las teorías de Einstein, como es la posibilidad de aplicar las nuevas geometrías curvas a la ciencia de la mecánica, o considerar casos particulares que se derivan de dicha aplicación, por ejemplo la posible curvatura de la radiación lumínica.

Pérez del Pulgar hace referencia a los modernos estudios sobre geometría, en concreto la de la curvatura del espacio de Riemann, el estudio de los grupos de transformación que dejan invariante una cuádriga (establecido por Bianchi), así como otros casos de espacios de tres dimensiones que se consideran superficies en un espacio de cuatro dimensiones. Defiende la posibilidad de estudiar las posibles aplicaciones físicas de estas nuevas geometrías, independientemente de si tienen un sentido físico que se corresponda con la realidad o no. Veamos la justificación del matemático español para su estudio:

Es claro que no hemos de entrar aquí en una discusión sobre el valor lógico de estas geometrías, pero dada su existencia y su utilidad innegable, desde el punto de vista analítico, no creo sea dado al físico desentenderse, en absoluto, de ellas. En efecto; si, como quieren algunos, estas geometrías no son más que otros modos de estudiar el espacio euclidiano, independientemente del ordinario e igualmente lógicos que él, pueden ellos tener una gran utilidad para el físico, por lo menos tanto como las geometrías euclidianas. Si como pretende la generalidad de los matemáticos metageómetras, sólo una de las tres geometrías es aplicable al mundo físico, no pudiendo decidirse entre ellas sino por

---

<sup>36</sup> Rodés, "De los cuerpos reales al éter hipotético. Breve exposición y examen de la teoría electónica sobre la constitución de los cuerpos", *Razón y Fe*, 1911 y 1912, v 30, p. 73-86, 213-225, 355-365, 495-503, v 31, p. 84-95, 212-225. Aunque este trabajo no apareció en un medio científico especializado, he considerado de interés su referencia por lo temprano de la fecha, su profundidad y rigor, así como por ser un ejemplo del buen grado de conocimiento de la situación de crisis en que se encontraba la física clásica.

<sup>37</sup> Hay que notar que en esta referencia de Pérez del Pulgar de 1907 y Echegaray de 1905, se constata que ninguno de los dos tenía conocimiento de la teoría de Einstein. Por lo tanto, realmente las primeras referencias sobre relatividad en España son las indicadas de Cabrera y Terradas de 1908. Pero se puede afirmar que las de Echegaray y Pérez del Pulgar, así como la de Ruiz-Castizo en 1903, lo son sobre la crisis de la física clásica y las ideas que condujeron al establecimiento de la relatividad.

<sup>38</sup> Este trabajo se basa en parte en otro aparecido anteriormente de contenido específicamente matemático, "Ensayo de geometría analítica noeuclediana", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 5, 1906, p 340-358, 429-453, 511-538.

procedimientos puramente empíricos, debe ocuparse la física de suministrar estos procedimientos y de librar, en cuanto pueda, sus teorías de la arbitrariedad que actualmente tienen, por apoyarse, casi en su totalidad, sobre la geometría euclidiana.<sup>39</sup>

El objeto del autor es demostrar, partiendo del principio de conservación de la energía, que en un espacio euclidiano todas las acciones eléctricas, magnéticas, y en general las acciones a distancia, se tienen que comportar de acuerdo a la ley de Newton; pero en un espacio riemanniano o de Lobachevski, no pueden seguir la teoría de Newton, sino otra que modifica a la clásica, lo que intenta Pérez del Pulgar estableciendo una nueva teoría del potencial para estas geometrías.

Demuestra que la ley de Newton y la de Coulomb son simplemente la aplicación del principio de conservación de la energía en un espacio euclídeo.

Para hallar la expresión de una fuerza central en función de la distancia, para un espacio no euclídeo, hay que poner en la expresión calculada  $dF/F = -dS/S$  (donde  $F$  es la fuerza que una masa  $m$  ejerce sobre la otra a lo largo de una superficie  $S$  de una esfera de radio  $r$ ) el valor de  $S$  y  $ds$  en dichos espacios (parte de que  $\int Fds = \int F'ds'$  y desarrollando llega en gravitación a la ley de Newton y en electrostática a la de Coulomb)

En un espacio euclídeo  $S=4\pi r^2$  y  $ds = 8\pi r dr$  y se obtiene  $F = \frac{Gmm'}{r^2}$

En uno riemanniano  $S=16\pi k^2 \operatorname{sen}^2\left(\frac{r}{2k}\right)S$  y  $ds=16\pi k \operatorname{sen}\left(\frac{r}{2k}\right)\cos\left(\frac{r}{2k}\right)dr$ ,  
obteniéndose  $F_r = \frac{Gmm'}{4k^2} \operatorname{sen}^2\left(\frac{r}{2k}\right)$

Para el caso de geometría lobachevskiana, no hay más que convertir las razones trigonométricas circulares (propias de la geometría riemanniana) en hiperbólicas, obteniendo la siguiente expresión para la fuerza gravitatoria:

$$F_L = \frac{mm'}{4k^2 \operatorname{senh}^2\left(\frac{r}{2k}\right)} \quad (\text{donde } k \text{ es una constante asociada a la curvatura})$$

Obtiene Pérez del Pulgar el potencial en el caso de geometría riemanniana, que es

$$V_R = \frac{-m}{2k \operatorname{tg}\left(\frac{r}{2k}\right)}$$

que para  $r$  suficientemente pequeña, esta nueva teoría del potencial y de acciones a distancia en los espacios no euclídeos se reduce a la usual, si  $k$  es suficientemente grande. Sabemos que la curvatura de nuestro espacio es aproximadamente nula y por tanto  $k$  es sumamente grande, por lo que las leyes de Newton y Coulomb son “de

<sup>39</sup> José A. Pérez del Pulgar, *La teoría del potencial y la curvatura del espacio*, Madrid, 1907, p. 4.

todos modos, una primera aproximación, suficiente para la porción de espacio, relativamente pequeña, a que se extiende nuestra observación<sup>40</sup>, por lo que las ecuaciones de  $F_R$ ,  $F_L$  y  $V_R$  se pueden contemplar como la generalización de las leyes que rigen las acciones a distancia.

Además, Pérez del Pulgar sostiene que el teorema de Gauss respecto al flujo de fuerza que atraviesa una superficie cerrada cualquiera es aplicable a los espacios con curvatura, pero no los teoremas relativos a la primera y segunda derivada del potencial.

En un espacio no euclidiano cambia la noción misma de componentes de una fuerza. En un espacio euclidiano, de curvatura nula, las componentes de un vector son numéricamente iguales a las coordenadas de su extremo respecto a tres ejes que pasan por su extremo. Pero esto no es cierto en los espacios no euclídeos, salvo que se trate de vectores infinitamente pequeños.

Considera el caso de la palanca, obteniendo la ley de la palanca para espacios no euclídeos y otros casos como el movimiento de rotación de un cuerpo alrededor de un punto (caso ya analizado por Cotton en 1903)

Pérez del Pulgar considera probado que la curvatura del espacio es sensiblemente nula por el hecho de que se haya comprobado experimentalmente que las transmisiones de fuerza a distancia cumplen con la ley de Newton. Pero a continuación se pregunta

... ¿podrá darse el caso algún día, de que en los movimientos producidos por fuerzas centrales, se observen trayectorias que no sean secciones cónicas? ¿quién se atreverá a negarlo rotundamente, en el estado actual de la ciencia? ¿quién es capaz de conjeturar las sorpresas que nos reservan, v.g, los cuerpos radio-activos, sin contar con manifestaciones nuevas de la energía que pueden descubrirse el día de mañana? Ahora bien; aunque esto sucediese algún día, no por eso tendríamos derecho a ver en ello prueba de que el espacio no es euclidiano. En primer lugar, como hace notar Poincaré a propósito de los otros procedimientos de medida de  $k$ , todo el mundo encontraría más natural, que echar por tierra el euclidianismo del espacio y el principio de conservación de la energía, el imaginar una nueva hipótesis para explicar la transmisión de dicha acción; (...)

Es difícil en el estado actual de la ciencia del espacio, decidirse por una u otra parte. Una cosa es indudable; que las geometrías no euclídeas, no sólo son completamente lógicas, como lo demostró Beltrany, Lobatchefsky y Riemann primero y como ya lo había previsto Gauss, y ha sido confirmado modernamente por infinidad de matemáticos, sino que son muy útiles para el cálculo, para la mecánica, y espero hacer ver que pueden serlo también para la electricidad, en el estudio de las acciones de las corrientes rectilíneas indefinidas y circulares.<sup>41</sup>

<sup>40</sup> Pérez del Pulgar, *Ibidem*, pág. 7.

<sup>41</sup> José A. Pérez del Pulgar, *La teoría del potencial y la curvatura del espacio*, Madrid, 1907, p.10.

Respecto a la radiación, plantea como posibles soluciones una falta de homogeneidad en el medio, fenómenos de polarización o refracción, que impidieran que la acción se propagara en línea recta.

Sobre la referencia de Poincaré cita sus obras *La Science et l'hypothese* y *Le valeur de la science*, donde Poincaré defiende que el decidir sobre unas geometrías u otras no es más que una cuestión de comodidad. Del físico francés afirma Pérez el Pulgar que ha adoptado el relativismo filosófico en lo que toca a las leyes físicas. Cita igualmente a Calimon en un artículo de 1893, "L'indetermination géométrique de l'universe".

También hace referencias a un estudio de Barbarin de 1900 (*Études de Geometrie analytique non-euclidienne*) sobre geometría angular de la radiación de primer orden. Igualmente las hace sobre la aplicación de geometrías curvas en la física, por parte de Newcomb en 1877 (lo que implica que su propuesta no es original de Pérez del Pulgar, pero sí lo es, indudablemente, en España).

Pérez del Pulgar aplica todo lo anterior al estudio de la rotación de un sólido alrededor de un punto fijo, obteniendo una ley más general para espacios curvos que tiende a la antigua para curvatura cero. Lo mismo para el movimiento causado por un potencial y para algunos problemas de electricidad, obteniendo las ecuaciones de Maxwell.

Plantea Pérez el Pulgar que una recta riemanniana o lobachevskiana es la imagen de un plano de una radiación euclidiana, las vibraciones transversales de las cuerdas en un espacio no euclidiano son imagen de las vibraciones transversales de una placa indefinida en un espacio euclídeo, una de cuyas rectas vibra según un punto fijo, transmitiéndose esta vibración angular.

Las ecuaciones de movimiento de un punto cualquiera de la recta no euclidiana representan también las vibraciones de un rayo cualquiera. La conclusión de Pérez del Pulgar es que

... al lado de toda una categoría de fenómenos físicos y mecánicos, cuya teoría matemática puede formularse reduciéndolos a acciones de puntos sobre otros puntos móviles, según líneas, contenidos aquellos y estas en un plano, existe otra categoría de fenómenos cuya teoría puede formularse reduciéndolos a acciones de rectas sobre otras rectas móviles, según superficies cónicas, pertenecientes aquéllas y éstas a una misma radiación de primer orden.<sup>42</sup>

Si a aquellas teorías las llamamos mecánica y física lineal plana y éstas son mecánica y física angular radiada se puede establecer que "la mecánica y física lineal plana no euclidiana es igual a la mecánica y física angular radiada euclidiana, pudiéndose pasarse de una teoría a otra por una simple sustitución de palabras". (pag 19)

---

<sup>42</sup> Pérez del Pulgar, *Ibidem*, p.19.

Afirma que ha desarrollado una geometría angular de la radiación del espacio euclidiano, que sería equivalente a la geometría lineal plan de Lobachevsky o Riemann

Es importante las referencias que hace Pérez del Pulgar a Poincaré, ya que éste se significó en cuestiones relacionadas con el origen de la relatividad, concretamente en dejar constancia de la crisis de la física, establecer la relatividad del espacio y el tiempo y en propiedades de las ecuaciones de transformación de Lorentz.

Es conocido que Poincaré, simultáneamente a Einstein, llegó también a una teoría de la relatividad, partiendo del principio de relatividad aplicado desde las transformaciones de Lorentz, que formalmente es muy similar a la teoría especial de Einstein. A pesar de esto, actualmente, entre los historiadores de la ciencia, hay consenso en asignar la prioridad en la relatividad especial a Einstein por ser éste último el que la postuló con todas sus consecuencias para todos los fenómenos de la física. En cualquier caso sí hay acuerdo también en asignar a Poincaré la prioridad en la demostración de la invariancia de las ecuaciones de Maxwell mediante las transformaciones de Lorentz y en demostrar que dichas transformaciones forman grupo, de hecho a las transformaciones como grupo se las denomina grupo de Poincaré.

Ciertamente Pérez del Pulgar no cita estas contribuciones de Poincaré, pero sí, como hemos visto, los estudios del matemático francés sobre geometrías no euclidianas. Además, sabemos de la gran influencia de Poincaré en los científicos españoles, por ejemplo en Echegaray. Como muestra de esta influencia están las primeras ediciones en castellano de obras clave del pensamiento de Poincaré, obras donde reflejaba la situación de crisis de la física, la necesidad de aplicar un principio de relatividad nuevo y de replantear los conceptos de simultaneidad y espacio y tiempo absolutos.

Poincaré publicó en 1902 *La Science et l'hypothèse*, que aparecería en castellano en 1907 (*La Ciencia y la Hipótesis*, Gutemberg, Madrid, 1907, traducción de Pedro M. González Guijano), en 1905 *La valeur de la Science* (publicada en España como *El valor de la ciencia*, Gutemberg, Madrid, 1906, traducción de Emilio González Llana), y en 1908 *Science et méthode* (*Ciencia y método*, Gutemberg, Madrid, 1910, traducción de Eduardo Cazorla).

En 1904 Poincaré impartió una conferencia en París bajo el título “la crisis actual en física matemática”, recogida en *El valor de la Ciencia*. En principio, puede sorprender la prontitud con que se publicaban las ediciones en castellano de las obras de Poincaré. Pero recordemos la enorme influencia del científico francés en la ciencia española de la época, en especial en Echegaray que se basó en múltiples trabajos de Poincaré para introducir en España los avances en física y matemáticas.

Hemos visto que las primeras referencias a la teoría de la relatividad de Einstein son de 1908 por parte de Cabrera y Terradas, aunque ciertamente con una interpretación de la misma incompleta. Pues bien, con el trabajo de Ruiz-Castizo en 1903, citado anteriormente, y la publicación en 1906 de *El valor de la Ciencia*, cuya traducción estuvo a cargo de Emilio González Llana, tenemos en España las primeras referencias

directas al Principio de relatividad. Efectivamente el capítulo octavo de la obra de Poincaré se denomina “La crisis actual de la Física Matemática”, correspondiente a la conferencia citada de Poincaré, dedicando un apartado completo a dicho principio,<sup>43</sup> donde Poincaré niega la posibilidad de detectar el movimiento absoluto, introduce la concepción del tiempo local, que explica en detalle, y refiere la hipótesis de Lorentz sobre la contracción de los cuerpos. En otro apartado explica también los recientes experimentos de Kauffman y los cálculos asociados de Abraham, según los cuales hay que cambiar la definición de masa, que ahora aumenta con la velocidad, hecho que también se explica con la interpretación de Lorentz del principio de relatividad aplicado a la electrodinámica. Más tarde, en *Ciencia y Método* (edición española de 1910) completaría esta reflexión sobre la variación de la masa en cuanto a la implicación de la velocidad de la luz como límite (al hacerse la masa infinita). En *La Ciencia y la Hipótesis*, aparecida en España en 1907, trata más en detalle las posibilidades de las geometrías no euclideas, la relatividad del espacio y la electrodinámica de Lorentz basada en el nuevo principio de relatividad.

---

<sup>43</sup> Poincaré, *El valor de la ciencia*, Gutemberg, Madrid, 1906, p. 178 a 182 (en la edición de Espasa de 1946 con traducción de Besio y Banfi se corresponde con las p. 115 a 118).

### 3.2. LOS PROTAGONISTAS DE LA RELATIVIDAD EN ESPAÑA: TERRADAS, CABRERA Y PLANS

En los tres principales protagonistas de la recepción y divulgación de la relatividad en España destacó su carácter rotundo en defensa de la teoría de Einstein sin que hubiera ningún ápice de duda en sus planteamientos, una vez asentados después de una lógica evolución en su pensamiento. Esta evolución se dio en los casos de Terradas y Cabrera desde una aceptación parcial o limitada de la relatividad como exclusivamente electromagnética hasta la asimilación total de la revolución einsteniana. Este es un interesante aspecto que se constata con la revisión de sus textos, aunque en el caso de Cabrera la evolución hacia la asimilación de la relatividad fuera más lenta y deja entrever, a través de sus textos, una interesante “lucha interior” en relación con el abandono de la hipótesis del éter.

#### 3.2.1. ESTEBAN TERRADAS (1883-1950), INTRODUCTOR DE LA RELATIVIDAD.

Terradas fue uno de los científicos más prestigiosos de la época en España, tanto en Física como en Matemáticas (se doctoró en las dos ramas de la Facultad de Ciencias de Madrid).<sup>1</sup> Dominaba perfectamente el alemán y se formó en parte de manera autodidacta con libros avanzados, mayoritariamente alemanes. Recordemos que Alemania era el país con mayor influencia en la física moderna. Además, estaba suscrito a *Annalen der Physik* desde 1903 y tuvo correspondencia con su editor. Por lo tanto es bastante probable que hubiera conocido de primera mano el origen de la relatividad. Fue catedrático de Mecánica Racional en la Universidad de Zaragoza, de Acústica y Óptica en la de Barcelona, de Ecuaciones Diferenciales en la de Madrid, presidente de la *Sociedad Astronómica de Barcelona*, director del Instituto de Electricidad y Mecánica Aplicada. Realizó proyectos importantes de ingeniería, como la red de ferrocarriles de Cataluña y la planificación de la red telefónica, siendo presidente de la Compañía Telefónica, entre otras actividades. En definitiva, vemos que diversificó su atención considerablemente, no pudiendo continuar sus primeros trabajos de índole teórico, entre los que destacó los estudios sobre movimientos de hilos y mecánica estadística y otros sobre Física y Matemáticas teóricas, además de divulgar la mecánica cuántica y la relatividad.

Es conocido su conocimiento enciclopédico y diversidad de intereses en ciencia teórica e ingeniería, de hecho también estudió Ingeniería Industrial y desde 1915 trabajó preferentemente como Ingeniero, ocupando puestos de alta responsabilidad. Éste es un factor importante por el que Terradas no pudo contribuir con trabajos originales sobre la Física moderna, de lo que sin duda parece que tenía capacidad para ello. En relación con este problema, una anécdota interesante es el discurso de contestación del académico José Doménech al de Terradas, en su recepción el 15 de Marzo de 1909 como miembro de la Academia de Ciencias de Barcelona, donde

---

<sup>1</sup> En lo relativo a datos biográficos de Terradas se ha seguido Roca Rosell y Sánchez Ron, *Esteban Terradas. Ciencia y técnica en la España contemporánea*, INTA y ed. Serbal, Madrid, 1990.

presagiaba el futuro profesional de Terradas ajeno a la ciencia teórica y le invitaba a no abandonarla para el necesario prestigio de nuestro país.

Se ha desarrollado un vivo deseo de cultivar las ciencias de aplicación, pero se olvida que sin el cultivo intensivo y entusiasta de las ciencias abstractas no pueden aquellas florecer y adelantar, y que a éstas deben todo lo que son y todo lo que valen [...]

Continúe el Dr Terradas en el sitio de honor en que hoy se halla, dedique todos sus medios intelectuales al estudio de la Física moderna y sobre todo de la Física matemática, deseche en el porvenir cualquier proposición que al mejorar sus condiciones económicas le aparten y desvíen de la senda que Dios le ha colocado ante su vista, y que ha de conducirle a la verdadera gloria, que es la de la inteligencia y del saber, procure con su ejemplo que otros le sigan en tan elevados estudios, para que no se diga que en España estamos inhabilitados para construir un núcleo que pese algo en la cultura general del mundo, y así se le deberán eterna gratitud, la ciencia en primer lugar, la patria, y después esta Academia...<sup>2</sup>

Aunque ya se ha comentado que se puede considerar a Cabrera y Terradas como los introductores de la relatividad en España, fue el científico catalán el que primero la asumió en todo su sentido. Hemos visto las aportaciones de Terradas en 1908 y 1909, pero en 1912 hizo una extensa reseña de un libro de Laue sobre relatividad, en la que podemos comprobar su total aceptación de la misma, así como del abandono del éter. Ningún otro científico español asumió tan pronto estos hechos. También influyó de forma determinante en otros científicos para que empezaran a estudiar la relatividad. Por ejemplo, en una fecha tan temprana como 1915, Cañas y Bonví en la 2ª edición de su manual universitario de *Óptica*<sup>3</sup> introdujo, mediante la sugerencia e información suministrada por Terradas, un capítulo denominado "Existencia del éter. Principio de relatividad".

Como ejemplo de lo anteriormente indicado sobre "la inflexible postura" de Terradas a favor de la relatividad, disponemos de la transcripción que De Rafael hace sobre unas conferencias del científico catalán, donde afirma, en referencia a la importancia del experimento de Michelson y Morley para la relatividad:

Después de estos tres años de ímproba tarea, los dos observadores decidieron tomarse un intervalo de merecidas vacaciones..... Sin embargo, las observaciones son suficientemente concluyentes para el resultado no que se pretendía, sino que había que pretender. Las franjas no se corrían porque no tenían que correrse; los que tenían que correr eran algunos conceptos apriorísticos admitidos en la ciencia sin suficiente examen con excesiva rigidez, y retenidos inútil y tercamente por los hombres de ciencia. Jamás un experimento frustrado ha tenido mayor éxito: no se encontró el movimiento absoluto en el éter, que

<sup>2</sup> Doménech, *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 1909, v. 7, p. 471.

<sup>3</sup> Cañas y Bonví, *Óptica*, Barcelona, 1915. Al introducir este capítulo como novedad respecto de la primera edición, en nota a pie afirma Cañas que sólo pretende dar una idea aproximada y para su profundización remite al libro de Laue, *Das relativitätssprinzip*, que sin duda conoció por Terradas.



hubiera sido una pura curiosidad, como la del péndulo de Foucault, pero en cambio se abrió un nuevo camino a la investigación y al análisis, a fin de que Lorentz primero y vacilando, y Einstein más tarde, con paso firme y amplísima acción, descubrieran un mundo nuevo dentro del viejo y pusieran los cimientos de una nueva era para las ciencias físicas, probablemente de eterna resonancia en los anales de la estudiosa humanidad.<sup>4</sup>

Un aspecto muy importante de Terradas como introductor de la relatividad fue su implicación en la visita de Einstein en España. Aunque por los testimonios parece ser que Einstein tenía en mucha estima a Terradas<sup>5</sup>, no se conoce el nivel de relación personal entre los dos. Sí sabemos que fue Terradas el principal organizador del viaje de Einstein en Madrid y que por él se hizo la invitación oficial a Einstein por el *Institut de Estudis Catalans*. Anteriormente a esta invitación, Terradas también organizó la visita de Levi Civita a Barcelona, gracias a la cual se publicó su libro *Qüestions de mecànica clàssica i relativista: conferències donades el gener de 1921* editado en 1922 por el *Institut* bajo la dirección de Terradas.

Aparte de las dos primeras publicaciones de Terradas sobre relatividad, ya analizadas anteriormente, y del escrito de 1912 citado, impartió unas conferencias sobre relatividad en el *Institut* (que transcribió Enrique de Rafael en la *Revista Ibérica*) y firmó la entrada correspondiente de la *Enciclopedia Universal Espasa* en 1923. Más tarde, en 1952 y en colaboración con Ramón Ortiz Fornaguera publicó un libro completo. Aunque puedan parecer escasas publicaciones, por su temprana aparición, rigor y profundidad, son de una importancia histórica incuestionable.

Recordemos que los dos primeros trabajos publicados en 1909 por Terradas son un perfecto ejemplo del proceso de evolución de su pensamiento para la aceptación completa de la relatividad. Efectivamente, en la conferencia de 1908,<sup>6</sup> interpreta incompletamente el principio de relatividad y en el de 1909<sup>7</sup>, por la forma de exponer la teoría de la radiación, parece mantener la hipótesis del éter, aunque al final del artículo deja un cierto suspense para poder interpretar la evolución de su pensamiento, siendo significativo el que da idea de conocer las innovaciones de Laub y Minkowski.

En cambio, en 1912, ya se puede decir que Terradas asumió completamente el significado de la relatividad de forma completa, es decir tanto en clave electrodinámica como cinemática. Esta afirmación se basa en la interpretación de su trabajo "Sobre'l principi de relativitat (Ressenya)".<sup>8</sup> Este artículo es una extensa reseña del libro de Laue *Das Relativitätssprinzip* (1911) que estaba considerado uno de los mejores y más profundos sobre relatividad, siendo además la primera exposición sistemática y completa publicada en cualquier idioma, trataba todas las facetas de la Física que

<sup>4</sup> De Rafael, "De relatividad. Apuntes con ocasión de las conferencias de E. Terradas en el *Institut*", *Ibérica*, nº 372, 1921, p. 220.

<sup>5</sup> Einstein dijo de Terradas que "su cabeza es una de las seis mejores del mundo", según información extraída de Glick(1986), p. 78.

<sup>6</sup> Terradas, "Teorías modernas acerca de la emisión de la luz" (sesión de 27-10-1908 del Congreso de la Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias), *Actas Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias*, 1909.

<sup>7</sup> Terradas, "Sobre la emisión de radiaciones por cuerpos fijos o en movimiento". 1909. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, tomo VII, p. 419 a 462.

<sup>8</sup> *Arxius de l'Institut de Ciències*, año 1 Nº 2, julio 1912, p. 84 a 94.

podían relacionarse con la teoría de la relatividad, por lo que dicho libro tiene un indudable valor histórico. Aunque es una reseña de un libro, por su extensión se puede considerar un artículo, ya que se trata de un análisis amplísimo, casi un resumen, es decir no es una reseña al estilo de las publicadas en los *Anales de Física* o en la *Revista de la Sociedad Matemática*, que eran de unos pocos párrafos.

Según las expresiones utilizadas por Terradas, se constata que asume completamente las ideas expuestas en el libro de Laue, de ahí la trascendencia de este texto, que supone la primera vez que en España se interpreta correctamente la relatividad. El artículo, publicado en catalán, empieza indicando que la relatividad ha dejado de ser actual porque comienzan a publicarse artículos en revistas y es expuesta en libros. Uno de los aspectos más llamativos es la profundidad con la que se trata la electrodinámica del electrón y que se adopte la formulación covariante de las ecuaciones de Maxwell como relaciones entre tensores (que Laue/Terradas menciona como ecuaciones de Maxwell-Lorentz)

Una de las conclusiones a las que nos referimos como asumidas por Terradas es que el experimento de Michelson fue el origen determinante y la base experimental de la relatividad. También Terradas cita las consecuencias conceptuales conocidas (respecto a los conceptos de espacio, el impacto en la nueva concepción del tiempo y la simultaneidad, masa, etc.), pero destacamos el que interprete las ecuaciones de Lorentz como principio cinemático, es decir con un carácter global, al afirmar que “les transformacions que definiesen el grupu de Lorentz son el fonament de tota la Cinemàtica de la Relativitat”<sup>9</sup>. Este planteamiento refleja lo ya indicado anteriormente, que ahora en 1912 Terradas sí ha comprendido el significado y la trascendencia del principio de relatividad. Cita la famosa interpretación de la teoría por parte de Minkowski (recordemos que es de 1908 y que Einstein no asumió esta idea hasta 1910). Analiza las ecuaciones de transformación de Lorentz como un grupo en el que las transformaciones se corresponden con la métrica  $x^2+y^2+z^2+l^2$  (donde  $l=ict$ ), siendo un invariante que se maneja en cálculo tensorial. En las ecuaciones del electromagnetismo en notación tensorial, se interpretan las ecuaciones de transformación de Lorentz como un grupo que mantiene invariante la forma de la ecuación de propagación de ondas. Se destaca la importancia de extender el principio de relatividad a sistemas acelerados y del problema que está suponiendo la gravitación en el entorno de la relatividad. Recordemos que todavía faltan tres años para que Einstein finalice su teoría general de forma completa. Laue está hablando en presente, y sin duda Terradas era consciente de ello. También comenta al respecto las últimas publicaciones de Einstein, Born, Sommerfeld, Wiechert. Por último hay una reflexión interesante (que no sabemos si es de Laue o del propio Terradas) sobre la necesidad de precisar un nuevo lenguaje que se adapte a la nueva manera de pensar.

Finaliza diciendo “El principi de relativitat es admés avuy per casi tothom. En las càtedres de Física s'adopta, generalment, son llenguatge. Alguns (Wiechert) no poden, però, admetre l'inutilitat del éter”<sup>10</sup>. Es de destacar esta última frase de Terradas en la que parece que queda clara su opinión respecto a que hay que abandonar la hipótesis

<sup>9</sup> Terradas, *Arxius de l'Institut de Ciències*, año 1, nº 2, julio 1912, p. 88.

<sup>10</sup> *Ibidem*, p. 94.

del éter. Como vemos, entre 1908 y 1912 hay un cambio radical en el pensamiento de Terradas, siendo en mi opinión este artículo el que realmente marca el comienzo de la relatividad en España por parte de sus científicos en cuanto a comprensión profunda de la misma.

Otro ejemplo de la labor fundamental de Terradas en la introducción de las ideas innovadoras sobre relatividad es el curso que preparó a finales de 1915 para impartir en la Universidad de Barcelona entre Marzo y Abril de 1916. Este curso versaba sobre las teorías relativistas de la gravitación de Einstein y Abraham, según información extraída de la *Revista de la Sociedad Matemática*.<sup>11</sup> Es probable que cuando Terradas preparara este curso todavía no conociera la formulación definitiva de la relatividad general de Einstein. Conviene recordar que, simultáneamente a Einstein, Abraham estaba desarrollando una teoría de la gravitación alternativa y que durante 1912 ambos mantuvieron en *Annalen der Physik* una prolongada polémica sobre sus respectivas teorías de la gravitación, cuando Einstein ya había publicado algunos artículos que reflejaban sus avances en la materia, aunque sin tenerla establecida completamente<sup>12</sup>.

Por la importancia de la *Enciclopedia Universal Espasa* en la cultura española de la época, merece que repasemos la entrada "relatividad" aparecida en 1923 y de la que fue autor nuestro protagonista. Hay dos acepciones relacionadas, sobre filosofía y sobre física. En la primera se resume el impacto en la nueva concepción del espacio y el tiempo, acentuando la importancia de la pérdida de significado del concepto de simultaneidad, la nueva interpretación de Minkowski del espacio-tiempo absoluto, la distinción conceptual entre masa gravitatoria e inercial, y la dependencia de ésta con la velocidad. Luego se justifica la concepción general de Einstein sobre que *Todas las leyes físicas son independientes del particular sistema espacio-tiempo que se emplee para enunciarlas*, se detalla el principio de equivalencia y las consecuencias de la teoría de la gravitación de Einstein. La acepción "física" es un artículo muy profundo y con profusión de herramientas matemáticas, más de 50 paginas que considerando las características de tamaño de letra y espacio de la edición, sería como un libro completo de relatividad. Es una exposición tipo de la relatividad especial y general, aunque con detalle y con la formulación matemática completa. Por ejemplo desarrolla matemáticamente la comprobación experimental de la desviación de los rayos luminosos. También detalla matemáticamente cómo sería la comprobación experimental del corrimiento al rojo, aunque indicando que es dificultosa, señalando que "no obstante estas dificultades, los resultados de las medidas de Perot, Buisson, Fabry, etc comprueban exactamente las previsiones de la teoría". Acaba con una breve biografía de Einstein que no apareció en el volumen correspondiente a la letra E. Realmente, este texto es completo tanto conceptual como matemáticamente, y, a pesar de estar publicado en la *Enciclopedia Espasa*, por sus características no puede considerarse como texto de divulgación.

Por último, Terradas publicó un libro completo sobre relatividad en 1952, realizado conjuntamente con Ramón Ortiz Fornaguera, pero ya no se puede considerar como

<sup>11</sup> *Revista de la Soc. Mat. Esp.* nº 42, noviembre 1915, p. 58.

<sup>12</sup> Véase A. Pais, *El Señor es sutil ...*, Ariel, 1984, p 234-243.

dentro del ámbito del proceso de recepción de la relatividad, por lo que se analiza en el capítulo siguiente, dedicado al periodo de postguerra.

Por el análisis de los textos originales de Terradas, conviene recordar, a título de resumen para valorar su capital contribución a la recepción de la relatividad en España, que a él se le debe la prioridad en la introducción de la relatividad en España y que fue el primer científico español que abandonó la hipótesis del éter, identificándolo con el vacío, y asumió la relatividad de forma completa, en sus principios tanto cinemáticos como electromagnéticos, en una fecha tan temprana como 1912. Probablemente era el científico español más dotado para realizar contribuciones en la física teórica, pero su trayectoria profesional como ingeniero le impidió hacerlo, por lo que, visto con perspectiva histórica, las palabras de José Domenech en 1909, anteriormente transcritas, cobran aún un mayor sentido respecto al devenir de la ciencia española.

### 3.2.2. BLAS CABRERA (1878-1945), DIVULGACIÓN EN LA COMUNIDAD CIENTÍFICA.<sup>13</sup>

A Blas Cabrera se le ha considerado el fundador de la física experimental en España y fue el físico español más importante e influyente de la época, siendo el primero en realizar contribuciones originales basadas en trabajos experimentales. Sus principales aportaciones fueron sobre magnetismo, publicando más de 100 trabajos, de los cuales muchos eran referencia en universidades centroeuropeas y fueron citados expresamente por Peter Weiss, junto con Cabrera, uno de los mayores expertos mundiales sobre magnetismo. Precisamente con Weiss trabajó en Zurich, donde en 1912 conoció personalmente a Einstein. Destacó su labor institucional, creando y dirigiendo el *Laboratorio de Investigaciones Físicas* y colaborando en intercambios con algunos de los principales físicos mundiales. Por último, se significó como divulgador de la nueva física, tanto en la relatividad como en la Mecánica Cuántica.

Fue catedrático de Electricidad y Magnetismo en la Universidad de Madrid, director del *Instituto Nacional de Física y Química* en 1932, Secretario general de la *Oficina Internacional de Pesas y Medidas* y miembro del *Instituto Internacional de Física Solvay*, a propuesta de Marie Curie y Einstein. En su exilio en Francia siguió trabajando sobre magnetismo, posteriormente se asentó en México, donde murió en 1945.

---

<sup>13</sup> Para este apartado sobre Cabrera, además de sus textos originales, se ha seguido: González de Posada, *Blas Cabrera, físico español, lanzaroteño ilustre*, Amigos de la cultura científica, ETS Arquitectura, Madrid, 1994; González de Posada, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad*, Amigos de la cultura científica, ETS Arquitectura, Madrid, 1995; González de Posada y González Redondo, "Ensayo introductorio" a *Principios fundamentales de análisis vectorial en el espacio de tres dimensiones y en el Universo de Minkowski*, de Blas Cabrera, Amigos de la cultura científica, ETS Arquitectura, Madrid, 1996; Fernández Rañada, "Ensayo introductorio" a *Principio de relatividad* de Blas Cabrera, Amigos de la cultura científica, ETS Arquitectura, Madrid, 1999; Romero de Pablos, Ana, *Cabrera, Moles, Rey Pastor. La europeización de la ciencia, un proyecto truncado*, Nivola, Madrid, 2002. Por otra parte, he trabajado con los originales de Cabrera en los aparecidos en la obra mencionada de González de Posada (1995).

La evolución del pensamiento de Cabrera respecto a la relatividad fue similar a la de Terradas, aunque más lenta. Por el análisis de los textos de Cabrera, se puede comprobar perfectamente la evolución desde una interpretación incompleta de la relatividad y una postura nada dubitativa sobre la existencia del éter a ir admitiendo paulatinamente la relatividad con todas sus implicaciones y negar la hipótesis del éter. De esta manera sus textos son una fuente primaria de indudable interés para el historiador de la ciencia.

Hemos visto como la primera referencia conocida sobre relatividad de Cabrera fue en la reunión de 1908 del congreso de la AEPC. Sólo señalar ahora que es bastante probable que en estos años Cabrera no tuviera el nivel de conocimiento de Terradas. Esto se puede comprobar sin más que comparar los dos textos de Cabrera y Terradas de 1909 que recogen sendas conferencias, donde el de Terradas es más detallado.

Desde 1910 Cabrera publicó trabajos en los que va tratando con diferente grado de profundidad el principio de relatividad y aparece dudoso respecto al éter. En 1916 y 1917 imparte varias conferencias en las que muestra que era consciente de la naturaleza revolucionaria de la nueva teoría, pero sigue sin asumir totalmente el abandono del éter. Ya por fin, en Noviembre de 1921, en un discurso denominado “Sobre el estado actual de la Física”, en la *R. Acad. Ciencias de Madrid*<sup>14</sup>, se comprueba su total aceptación de la nueva teoría incluyendo la desaparición del éter como hipótesis.

Varios aspectos caracterizan a Cabrera en cuanto al proceso de recepción de la relatividad: fue el principal difusor de Einstein y su teoría; era el que tenía más audiencia; planteó las consecuencias filosóficas de la nueva física relativista, trató el desarrollo histórico de la misma e insistió permanentemente en la base experimental y comprobaciones de la teoría.

Las publicaciones de Cabrera sobre relatividad son abundantes, abarcando desde 1908 hasta 1931. Dos de ellas aparecieron como libros independientes: *Qué es la electricidad*<sup>15</sup> en 1917 y *Principio de relatividad. Sus fundamentos experimentales y filosóficos y su evolución histórica* en 1923<sup>16</sup>. Durante 1912 y 1913 publicó una serie de artículos en la *Revista de la R. Acad. Ciencias de Madrid* con el título común “Principios fundamentales de análisis vectorial en el espacio de tres dimensiones y en el Universo de Minkowski”.<sup>17</sup> Otras publicaciones eran transcripciones de conferencias, entre las que destacaron las aparecidas en la *Revista de la R. Acad. Ciencias de Madrid*. En los *Anales* no publicó ningún artículo sobre relatividad, sino un par de reseñas sobre trabajos de Max Planck y Abraham, lo que es lógico ya que reservaba

<sup>14</sup> Cabrera, “Momento actual de la física, discurso leído en la solemne sesión inaugural del curso académico de 1921-22, el día 13 de Noviembre de 1922”. *Discursos de la R. Acad. Ciencias Madrid*, 1921.

<sup>15</sup> Publicaciones *Residencia de Estudiantes*, Madrid, 1917.

<sup>16</sup> Publicaciones *Residencia de Estudiantes*, Madrid, 1923.

<sup>17</sup> *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1912, Tomo XI, p.326, 398, 490, 604, 670, 775, 874 y 959; 1913, tomo XII, p. 546 y 738. Esta serie de artículos como libro independiente ha permanecido inédito hasta 1995, cuando se editó por primera vez en el marco de la edición de las obras completas de Cabrera por el Gobierno de Canarias. Para este trabajo se ha utilizado esta edición, con ensayo introductorio realizado por González de Posada y González Redondo, *Amigos de la Cultura Científica, ETS Arquitectura*, Madrid, 1996.

este medio para sus contribuciones en física experimental, propias de otras disciplinas en las que era especialista, como el magnetismo.

Después de su intervención en el Congreso de la AEPC, la primera aportación donde trata los problemas de la física prerrelativista es el 17 de Abril de 1910 en su discurso de recepción como miembro de la *Real Academia de Ciencias de Madrid*, bajo el título "El éter y sus relaciones con la materia en reposo".<sup>18</sup> Aunque en ningún momento cita la relatividad, es un documento relevante por mostrar el buen grado de conocimiento sobre los problemas y contradicciones que se producían en la Física con la hipótesis del éter. Cabrera, sin dudar de su existencia, constataba dichas contradicciones. En la contestación protagonizada por Echegaray también se constata este problema. Para la elección del discurso de recepción en la Academia de Ciencias el mismo Cabrera se refiere respecto al tema seleccionado:

Ninguno tan fundamental para las Ciencias Físicas ni de actualidad tan palpitante como analizar el concepto que la física moderna se forma del éter. Identificado por Descartes con la extensión; conceptuado por los físicos del siglo XVIII y principios del XIX como una materia tenuísima, especie de ultragas cuyas moléculas son suficientemente pequeñas para penetrar sin dificultad los espacios interatómicos, envolviendo estos últimos elementos de la materia ponderable a la manera que la atmósfera rodea a los planetas, se ha convertido hoy en algo mucho más sutil, algo que sólo podemos definir por un sistema de ecuaciones, que si lo dicen todo a la inteligencia, nada sugieren a la imaginación.<sup>19</sup>

A lo largo del texto hay varios ejemplos en los que se constata que Cabrera era consciente de la crisis en la que se hallaba la física prerrelativista.

Pero nuestro hábito mental es de tal modo fuerte, que esta noción simplicísima del éter no se ha impuesto aún como verdad inconclusa; y son muchos los físicos que han pretendido y pretenden formar un modelo mecánico, cuyos movimientos se rijan por el sistema de ecuaciones que rijan el éter. Sin embargo, **todos los esfuerzos han sido inútiles y seguramente seguirán siéndolo**<sup>20</sup>.

Se extiende, con todo detalle, sobre las teorías contradictorias acerca del éter, en cuanto a composición atómica o hipótesis de la continuidad del mismo. Es destacable el siguiente párrafo en relación con el problema de la gravitación

En definitiva, la transmisión de las fuerzas que aparentemente actúan a distancia, exige la presencia del éter como un medio continuo que llena el vacío y penetra en el seno de la materia. Prescindiendo de la gravitación, fenómeno cuya naturaleza es tan mal conocida como bien determinadas se encuentran sus leyes,... las acciones electromagnéticas son las únicas que han menester de tal vehículo, pues la teoría electromagnética de la

---

<sup>18</sup> Cabrera, "El éter y sus relaciones con la materia en reposo", *Discursos de la R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1910.

<sup>19</sup> *Ibidem*, p. 4.

<sup>20</sup> *Ibidem*, p. 5 (El énfasis es mío).

luz ha reducido la energía radiante a la propagación del campo electromagnético a través del espacio.<sup>21</sup>

(...)

Por indicación de Fitzgerald y Lord Kelvin, Lodge ha repetido con toda atención experimentos anteriormente realizados conducentes a denunciar el movimiento del éter a lo largo del campo magnético, mediante el desplazamiento de las franjas de interferencia entre dos haces luminosos que se propagan en sentidos opuestos a lo largo de las líneas de fuerza. No obstante, la sensibilidad de los métodos puestos en práctica, susceptibles de apreciar un desplazamiento de una centésima de raya, los resultados fueron totalmente negativos, permitiéndole a Lodge concluir que “el flujo de éter no alcanza a 1/9 de milímetro por segundo para cada unidad C.G.S. de intensidad del campo”.<sup>22</sup>

El texto citado de 1912 y 1913 “Principios fundamentales de análisis vectorial ...” tiene una gran importancia histórica tanto por lo pronto de la fecha, en la que todavía casi no se trataba la relatividad en España, como porque se ven las contradicciones de Cabrera propias de un estado de evolución del pensamiento, en proceso lento de asimilación de la relatividad. Como conclusión general se puede establecer que con esta obra Cabrera admite el principio de relatividad en su interpretación global, pero que todavía se mantiene dudoso con respecto al éter, mostrando contradicciones en este sentido. Este trabajo tiene dos antecedentes en cuanto al aspecto matemático, no en lo referente a la teoría relativista. Son “Principios fundamentales de la teoría de vectores. Crítica de las acciones a distancia” (*R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1906)<sup>23</sup> y “Sobre la teoría de los tensores” (*Anales de Soc. Esp. Física y Quim.*, 1907)<sup>24</sup>

En este sentido, en los artículos de 1912-1913 citados, demuestra que cuando se aplican las ecuaciones generales del campo electromagnético a cuerpos en movimiento “conducen a resultados contradictorios”. Pero en cambio, en el apartado denominado “Energía distribuida en el campo electromagnético. Existencia del éter”, después de deducir matemáticamente con todo detalle la expresión de la distribución de energía concluye Cabrera, refiriéndose al éter

Rechazar la existencia de esa cantidad distribuida en el espacio y capaz de propagarse de un punto a otro, equivale a negar validez al principio de conservación de la energía cuando se le aplica a los fenómenos electromagnéticos, por lo menos dentro de las ideas clásicas. Dicho se está que los dos términos del dilema son igualmente lógicos; pero es evidente que aceptar el segundo equivale a destruir los cimientos mismos de la ciencia, tal como ha sido edificada en la última centuria, y en estas condiciones se comprende que es más cómodo admitir la realidad de aquella energía electromagnética.

Pero la energía se presenta siempre en un sostén material, y de aquí la necesidad de admitir la existencia de un medio, un algo que llene la

---

<sup>21</sup> *Ibidem*, p. 11 y 12.

<sup>22</sup> *Ibidem*, p. 20.

<sup>23</sup> *Revista de la R. Acad. Ciencias de Madrid*, tomo 4, 1906, p. 532.

<sup>24</sup> *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, 1907, v 5, p.111.

totalidad del espacio, y al cual se ha denominado éter. Subrayamos la palabra necesidad para llamar la atención sobre el valor meramente relativo que aquí posee, puesto que, en primer termino, somos libres de escoger entre la existencia de una energía electromagnética o la negación del primer principio de la Energética; y, en segundo lugar, aun aceptando este último, la necesidad de aquel medio no está impuesta por los fenómenos mismos, sino por nuestros hábitos mentales.<sup>25</sup>

La última frase es representativa de la ambigüedad en Cabrera, ya que plantea la necesidad del éter pero reconoce que lo hace para salvar nuestro sistema intuitivo. Aún así intenta mantener la hipótesis del éter por consideraciones científicas. Para ello, después de tratar la equivalencia de la luz con las ondas electromagnéticas, desarrolla matemáticamente, siempre con deducciones detalladas, la expresión de la cantidad de movimiento electromagnético mediante las seis componentes  $p_{xx}$ ,  $p_{yy}$ ,  $p_{zz}$ ,  $p_{yz}$ ,  $p_{zx}$ ,  $p_{xy}$  que lo son de un tensor simétrico, denominado tensor elástico de Maxwell. La explicación de dicha denominación es la siguiente: la expresión matemática de la fuerza total que actúa sobre un sistema de cargas eléctricas contiene una componente que, formalmente, es propia de una deformación elástica. Esto indica, según Cabrera, que existen unas funciones elásticas referidas a cualquier punto del campo electromagnético que demuestran la existencia del éter. Pero, a su vez, Cabrera advierte que

Pudiera, sin embargo, creerse que si bien las transformaciones que acabamos de hacer son rigurosamente exactas desde el punto de vista analítico, pudieran carecer de significación física precisa.<sup>26</sup>

Respecto a este problema, Cabrera continúa indicando que también puede deberse a que sobre una superficie se ejerce una presión, es decir que un rayo de luz que cae sobre una superficie absorbente ejerce una presión sobre ella, que dice ha sido demostrada experimentalmente.

Pero aceptar esta presión como un hecho experimental, y negar la presencia de una cantidad de movimiento distribuida en el medio.... es tanto como renunciar al principio de la conservación de la cantidad de movimiento ó sus equivalentes el de la igualdad de la acción y reacción, o el del movimiento relativo.<sup>27</sup>

Este planteamiento de Cabrera, con desarrollos basados en la física clásica, demostraría la existencia del éter, pero esto se hace incompatible con los resultados de algunos experimentos, como los referentes a la presión de la radiación. Cabrera resume el conjunto de ecuaciones que definen el estado de un medio continuo universal donde se dan los fenómenos electromagnéticos, las ecuaciones de Maxwell:

$$\operatorname{div} \vec{E} = 4\pi\rho ; \operatorname{rot} \vec{E} = \frac{-1}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

<sup>25</sup> Cabrera, *Principios fundamentales....*, edición de González de Posada, 1995, p. 188.

<sup>26</sup> *Ibidem*, , p. 192.

<sup>27</sup> *Ibidem*, p. 194.



$$\text{div } \vec{H} = 0; \text{ rot } \vec{H} = \frac{1}{c} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

$$\vec{F} = \vec{E} + \frac{1}{c} \vec{v} \cdot \vec{H}$$

$$W = \frac{1}{8\pi} (E^2 + H^2)$$

$$G = \frac{c}{4\pi} \vec{E} \cdot \vec{H}$$

Nos explica que, respectivamente, son las ecuaciones de Maxwell de los campos eléctrico y magnético (las divergencias y rotacionales de los mismos), la ecuación de la fuerza “ponderomotriz” ejercida sobre una carga en movimiento, la de la distribución de energía en un campo electromagnético y el flujo de la misma. Estas ecuaciones explican todos los fenómenos observados en sistemas sin movimiento pero dan lugar a contradicciones para un sistema dotado de movimiento de traslación por lo que la teoría electromagnética es incompleta. Para confirmar este punto, Cabrera describe el experimento de Michelson Morley y los orígenes de por qué era interesante dicho experimento, así como sus resultados. En definitiva, según Cabrera, se constata el carácter incompleto de la teoría electromagnética por el resultado del experimento de Michelson.

Ahora bien, como decíamos más arriba, el caso que acabamos de señalar no es el único. Existen otros experimentos que conducen a la misma contradicción. Y como en dichas condiciones no es posible rechazar los resultados experimentales, debemos concluir que la teoría electromagnética es incompleta.<sup>28</sup>

Fijémonos que en este año, 1913, Cabrera, con esta conclusión, está lejos de admitir la relatividad einsteniana, ya que el problema no estaba en el electromagnetismo, sino en el principio de relatividad de la mecánica clásica.

El capítulo VI de esta serie de artículos, denominado “Principio de relatividad”, se publicó en 1913 y ya se cita a Einstein. El comienzo del capítulo dice así

En la imposibilidad de rechazar ninguno de los grupos de experimentos que parecen contradictorios y que hemos analizado en el capítulo anterior, Einstein ha preferido admitir la exactitud de ambos, formulando el siguiente principio:

Las leyes que rigen los fenómenos naturales son independientes del estado de movimiento del sistema de coordenadas con relación al cual se observan los fenómenos, siempre que el movimiento del sistema posea una aceleración nula.

De otra manera, es imposible reconocer nuestro movimiento absoluto en el espacio, sea cual fuere el conjunto de fenómenos a que se acuda con dicho fin.

---

<sup>28</sup> *Ibidem*, p. 200.

Este principio es la generalización del principio de relatividad de la Mecánica, por lo cual Einstein le ha conservado dicho nombre. Y si en esta ciencia le<sup>29</sup> admitimos sin dificultad alguna, no parece lógico el formular reservas a su generalización. Ciertamente que, como veremos muy pronto, las consecuencias a que seremos conducidos parecen un poco extrañas; pero un análisis profundo pone inmediatamente de manifiesto que ello depende de la aceptación implícita de ciertas hipótesis arbitrarias.<sup>30</sup>

Con el criterio de que las leyes se mantengan invariantes deduce las ecuaciones de transformación de Lorentz. Como aspecto curioso (porque no se solía citar en las deducciones de las transformaciones) Cabrera aclara previamente que, partiendo que en Mecánica, en principio se supone que se podría medir el tiempo con el mismo reloj en dos sistemas, lo lógico es suponer en las transformaciones que  $t=t'$ . Pero con esta condición no se solucionan las contradicciones, por lo que hay que considerar la variable  $t$  equivalente a las espaciales, es decir que sean función de todas las coordenadas, así  $t'=f(x,y,z,t)$ . Una vez obtenidas las ecuaciones continúa Cabrera

Las dificultades con que el principio de relatividad lucha comienzan cuando se busca el sentido físico de las anteriores ecuaciones. Las nociones de espacio y el tiempo, que formamos guiados por la experiencia, son completamente irreductibles y, sin embargo, figuran en las anteriores fórmulas de transformación con una cierta simetría que acarrea una consecuencia totalmente imprevista.<sup>31</sup>

Detalla la implicación en cuanto a la dilatación del tiempo y el concepto de simultaneidad, así como la contracción del espacio (que indica ya fue supuesto por Fitzgerald y Lorentz) y desarrolla la ley de composición de velocidades por la que se deduce que  $c$  es un límite. Finaliza con la siguiente frase ambigua y ciertamente confusa que indica la controversia interna en la que debía estar manteniéndose Cabrera en esos años

Basta lo dicho como prueba de las dificultades a que el principio de relatividad da margen, todas ellas dependientes de una manifiesta oposición entre los conceptos vulgares y los que de él derivan. El carácter de estas lecciones nos impide penetrar más profundamente en el análisis de esta cuestión, por otra parte ya bastante debatida. Diremos sólo que de aquel análisis parece desprenderse claramente que los conceptos en oposición con el repetido principio no son consecuencias necesarias de la observación y la experiencia, y, por ende, nada se opone a que les<sup>32</sup> rechacemos como falsos.<sup>33</sup>

El siguiente capítulo (seguimos estando en 1913, antes de la formulación de la relatividad general) se denomina “La Geometría del espacio de Minkowski” y parte del

<sup>29</sup> (sic) En estos años no estaban fijadas las normas gramaticales sobre el *leísmo*.

<sup>30</sup> Cabrera, *Principios...*, edición de 1995, p. 201.

<sup>31</sup> *Ibidem*, p. 206.

<sup>32</sup> (sic).

<sup>33</sup> *Ibidem*, p. 210.

hecho de observar que el sistema de ecuaciones de transformación no es simétrico respecto de las coordenadas  $x$  y  $t$ , si realizamos el cambio de variable  $u=ct$  sí quedan simétricas, de la forma

$$x' = \frac{x - vu/c}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad t' = \frac{u - vx/c}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Además definiendo  $\text{tang}\theta=v/c$  tenemos que las ecuaciones corresponden a hipérbolas equiláteras y las transformaciones definen una rotación, pero no en el sentido de la geometría euclídea, ya que en una rotación euclidiana se conserva fijo el centro y en este caso además están fijas dos rectas que pasan por dicho centro y son las asíntotas de las hipérbolas.

La interpretación geométrica directa del grupo de ecuaciones de transformación, si bien tiene la ventaja de presentar con la mayor claridad posible su verdadera significación, tiene el grave inconveniente de obligarnos a razonar con el auxilio de un lenguaje que es opuesto a nuestros hábitos mentales, por lo cual el desarrollo de la teoría de la relatividad hubiese sido mucho más lento sin la genial idea de Minkowski de reemplazar la coordenada real  $u$  por la imaginaria  $l=iu=ict$ .<sup>34</sup>

Este cambio implica que las ecuaciones de transformaciones se corresponden con una rotación ordinaria cuyo invariante es  $x^2+y^2+z^2+l^2$ . Esto permite que se puedan tratar el grupo de ecuaciones de transformación para el caso en que los nuevos ejes tengan una orientación cualesquiera respecto de los primitivos. Así, aplicaríamos un sistema de ecuaciones correspondiente a una rotación en un espacio de cuatro dimensiones en el que quedan 16 coeficientes, que por simetría se reducen a seis y aplicando la notación tensorial se reduce a cálculos de determinantes de las correspondientes matrices.

El último capítulo, con una notación compleja, extiende el cálculo vectorial a los cuadvectores del Universo de Minkowski, pero se queda inconcluso porque no lo siguió publicando.<sup>35</sup>

Como vemos, esta última parte tiene el interés de que Cabrera estaba al día en cuanto al tratamiento de Minkowski, que Einstein no aceptó hasta 1910 aproximadamente. Además, aunque Cabrera no lo cita, parece, por la forma de tratarlo, que estaba al corriente de los artículos que iba publicando Einstein. La importancia histórica de esta serie de artículos radica en ser la primera exposición completa en España de la relatividad especial, en una fecha tan temprana como 1913, aunque todavía Cabrera no la asuma en todas sus consecuencias. Recordemos que la publicación de Terradas de 1912 era en realidad una reseña, aunque muy extensa. Por el contrario, el mérito de Terradas, es que con este texto sí se deduce su interpretación completa de la relatividad.

---

<sup>34</sup> *Ibidem*, p. 219.

Un año más tarde, en una conferencia sobre las implicaciones físicas de la geometría tetradimensional,<sup>36</sup> aunque es mucho más claro en sus conclusiones, Cabrera vuelve a mostrarse ambiguo respecto al éter. Considera las modificaciones fundamentales en la concepción del espacio y el tiempo por la relatividad, pero, en cambio, afirma que la teoría electromagnética postula la existencia del éter que está definido por el sistema de las ecuaciones de Maxwell. Plantea que pueden ocurrir dos fenómenos en un cuerpo en movimiento en relación con el éter, o bien éste es arrastrado por el propio movimiento del cuerpo o bien queda en reposo absoluto. Se explican experimentos que dan cuenta de los dos fenómenos, el de la aberración de la luz y el de Michelson, por lo que se produce una contradicción insalvable. De esta forma la aplicación de las teorías clásicas a estos grupos de fenómenos es imposible. Partiendo de este hecho llega a las nuevas ecuaciones de transformación y destaca su implicación en cuanto al espacio y el tiempo de una forma mucho más clara que anteriormente. También interpreta las ecuaciones como una rotación en una geometría no euclídea y describe el significado nuevo de la rotación de la siguiente forma:

Si se quiere buscar una diferencia bien característica entre ambos conceptos de la rotación, acaso ninguno como la que surge al comparar la definición vulgar de rotación con su correspondiente para las nuevas geometrías. Rotación, dice la Geometría de Euclides, es el movimiento de una figura indeformable, en el cual se conserva fijo un punto. Rotación, debemos ahora decir, es el movimiento de una figura en el cual se conservan fijos un punto y dos rectas que pasan por él: las dos asíntotas de la hipérbola equilátera.<sup>37</sup>

A pesar de haber mencionado la imposibilidad de detectar el movimiento absoluto, Cabrera no extrae ninguna conclusión sobre su hipótesis inicial de la física clásica respecto al éter, con lo que vuelve a dejar en el aire las implicaciones de la relatividad con dicha hipótesis.

El siguiente trabajo, el libro *Qué es la electricidad* (1917), basado en un ciclo de conferencias de la Residencia de Estudiantes, es un paso más, aunque todavía incompleto, en el abandono de la hipótesis del éter. El último capítulo se denomina "Electricidad y éter: principio de relatividad". Previamente a este apartado, por el tratamiento que se hace de temas de propagación electromagnética, podemos interpretar que Blas Cabrera no parece poner en duda la hipótesis del éter. Posteriormente, en el desarrollo de este capítulo sí se comprueba su cuestionamiento de dicha hipótesis. En definitiva, de la lectura del libro se denota una cierta contradicción, lo que da idea de que Cabrera todavía estaba en fase de asimilación sobre el abandono del éter, aunque sí aceptaba ya el resto de implicaciones de la relatividad especial. Por el tratamiento que hace Cabrera se concluye que no postula la necesidad del éter como sistema de referencia absoluto, pero lo seguía manteniendo como medio soporte de propagación de las ondas electromagnéticas.

<sup>35</sup> Según indica González de Posada en el ensayo introductorio de la edición de 1995.

<sup>36</sup> Cabrera, "Aplicación a la física de la geometría de las cuatro dimensiones", *Instituto de Ingenieros Civiles*, 1914.

<sup>37</sup> *Ibidem*, p. 18. Aparece también en González de Posada, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad; con 8 artículos de Blas Cabrera*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid, 1995, p. 122.

Este aspecto es muy importante, ya que los dos motivos fundamentales en la resistencia de algunos científicos a abandonar dicha hipótesis era su necesidad como referencial absoluto y como medio de propagación de las ondas electromagnéticas. El primer motivo sí que ya lo excluye Cabrera. Por ejemplo dice

He hablado antes del éter como soporte del campo electromagnético y ahora agregó que en alguna ocasión se ha pensado en la posibilidad de que las cargas eléctricas sean simples particularidades de una deformación del mismo.<sup>38</sup>

Respecto el estado presente de asimilación del nuevo paradigma en que se encuentra Cabrera en relación con el éter es significativo el siguiente párrafo

Volviendo al problema que nos ocupa, esto es, la existencia del éter, véase la enorme dificultad que nos crea. En el estado actual de la Ciencia la supresión de la hipótesis del éter elimina dificultades de bulto, sin que exista grave quebranto en la parte verdaderamente esencial del edificio construido durante siglos.<sup>39</sup>

Como se ve, predomina ese carácter contradictorio ya que parece dar por seguro la existencia del éter pero posteriormente intercala frases como “admitida la existencia del éter”, “de hecho, si existe el éter”. Respecto al fenómeno de la aberración de la luz dice que no ocurriría lo indicado si el éter, medio que transporta la energía luminosa, fuese arrastrado por la materia.

En relación con lo anteriormente expuesto, Cabrera indica la necesidad de reorganizar la Física por el fracaso de todos los intentos de determinar el movimiento absoluto, en el sentido de definir un postulado sobre la incapacidad de distinguir dos estados dinámicos con movimiento uniforme entre ellos. Es decir, defiende el principio de relatividad de Einstein porque no se podía detectar el movimiento respecto a un sistema absoluto, el éter. Fijémonos que cuando se refiere a reorganizar la Física habla en presente por lo que estaba en pleno proceso de maduración para asumir plenamente la relatividad. En conclusión, salvo en el aspecto del éter, Cabrera ya asume completamente la relatividad einsteniana indicando que las consecuencias del experimento de Michelson y del principio de relatividad es la constancia de la velocidad de la luz y la interdependencia de la masa y la energía, mostrando la famosa ecuación  $E=mc^2$ .

En 1921, con la publicación de *La teoría de la relatividad*, correspondiente a las conferencias impartidas en la *Sociedad Oceanográfica de Guipúzcoa* ya sí se puede afirmar que Cabrera tiene asumido tanto el principio de relatividad como la necesidad de abandonar completamente el éter. Estas conferencias son de carácter más divulgativo que las anteriores, ya que realiza un tratamiento más conceptual y no contiene fórmulas matemáticas. El interés de este texto reside en que analiza los motivos de la resistencia a asumir la relatividad entre los científicos, siendo consciente de que él mismo ha sufrido este proceso de resistencia. Considera el problema que supone la adquisición de los conceptos en la mente humana de forma inconsciente,

---

<sup>38</sup> Cabrera, *¿Qué es la Electricidad?*, Publicaciones Residencia de Estudiantes, 1917.

<sup>39</sup> *Ibidem*.

que generan lo que el llama inercia intelectual e impide admitir nuevas teorías que rebaten los conceptos adquiridos. Realiza un sintético recorrido histórico por las disciplinas fundamentales de la física cuyos conceptos se verán modificados por la revolución relativista. Como ejemplo de lo indicado anteriormente, se transcribe el siguiente párrafo sobre su visión del origen a la resistencia en admitir la relatividad:

Las ideas, doctrinas y teorías que la humanidad va formulando para explicar la Naturaleza de que forma parte, en su fluir permanente a través de nuestra mente va dejando prendidas en nuestra enmarañada estructura cerebral nociones que por haber pasado el dominio de lo inconsciente, parecen imponerse al Conocimiento con fuerza irresistible. La importancia que tienen para el futuro avance de la Ciencia es tanto mayor cuanto que junto a ellas, y aparentemente en el mismo plano, existen también principios inmutables que al conocimiento impone la propia Naturaleza mediante la organización de nuestro órgano de conocer. Estos son los postulados esenciales de la Ciencia, la razón de la concordancia de sus construcciones con la realidad externa y de sus corolarios con los fenómenos observados. Aquellas otras nociones, sedimento de la civilización en el pensamiento, se manifiestan en la inercia intelectual que cierra el paso a toda concepción nueva.<sup>40</sup>

En el mismo año, en el discurso de apertura del curso 1921-1922 de la *Real Academia de Ciencias de Madrid*<sup>41</sup> comienza a desautorizar a los antirrelativistas:

En último término la bandera de la inmutabilidad de los principios es la que se tremola por quienes luchan contra la teoría relativista, lo mismo en su forma restringida que en la general, a pesar de que mirada desde puntos de vista más fundamentales se ofrece como heredera directa del pensamiento clásico en orden a la construcción de la Ciencia. No se la combate, ni habría posibilidad de hacerlo, apoyándose en que deje inexplicados fenómenos que la filosofía natural clásica interprete claramente, pues dentro del dominio a que esta última alcanza el acuerdo es perfecto; ni tampoco se puede argumentar con su esterilidad, porque gracias a ella se logra encuadrar en la ordenación lógica de nuestros conocimientos hechos y fenómenos que quedaban antes al margen de la Ciencia. Un somero análisis de las opiniones emitidas por los detractores más autorizados de la teoría revela que la raíz de la oposición está, como decía, en que echa por tierra la inmutabilidad de ciertos principios, en cuanto rechaza la exactitud de leyes que de modo más o menos explícito habían alcanzado aquella categoría. La de Lavoisier referente a la conservación de la masa y la de atracción de Newton son dos ejemplos bien claros de estos principios o cuasi principios eliminados por las nuevas concepciones; pero aun, y esto es pecado más serio, también se la rechaza en nombre de determinadas nociones que habían sido elaboradas de modo casi inconsciente, cual la

<sup>40</sup> Cabrera, "La Teoría de la relatividad", *Sociedad de Oceanografía de Guipúzcoa*, 1921. Aparece en González de Posada, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad*, 1995, p. 129 y 130.

<sup>41</sup> Cabrera, "Momento actual de la Física. Discurso de la sesión inaugural del curso académico 1921-1922, leído el 13-11-1921", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, Madrid, 1921, p. 7-30.

rigidez de los cuerpos, la de la simultaneidad y el carácter euclidiano del espacio.<sup>42</sup>

En este discurso hace un repaso sobre las diferentes ramas de la física presentando en algunos casos su evolución histórica. Aunque entra más en detalle en cuestiones de física cuántica y teoría atómica, trata la relatividad pero no para explicarla, sino para entrar en debate con los contrarios, como hemos visto. También se refiere Cabrera a la anterior necesidad de creación del éter “ese medio sutil que los físicos inventaron para tranquilizar su propia conciencia ante el fracaso, que juzgaban aparente, de sus ideas”, que con la relatividad restringida se eliminó. También menciona aspectos de recepción de la relatividad y sobre la resistencia a admitirla, relacionándola con el subdesarrollo de la ciencia española.

Con estos antecedentes, en los que hemos participado del proceso de evolución de Cabrera, llegamos a su obra cumbre respecto a la relatividad, su magnífico y completo libro *Principio de relatividad. Sus fundamentos experimentales y filosóficos y su evolución histórica* (Publicaciones Residencia de Estudiantes, Madrid, 1923).<sup>43</sup>

El subtítulo del libro ya es significativo de las características del mismo. El contenido hace honor a su nombre, ya que trata con profundidad todos los aspectos conceptuales de la relatividad y sus consecuencias filosóficas. También matemáticamente es riguroso. Por lo tanto, se puede considerar el libro más completo publicado hasta entonces en España y el único que trata los aspectos históricos mezclándolos con los conceptuales. El objetivo de este libro es demostrar que el principio de relatividad einsteniano debe ser un postulado necesario de la Filosofía natural. Vuelve a tratar las resistencias a admitir la nueva teoría, justificando el recelo que muchos han tenido para admitir la relatividad, y que todavía en esa fecha otros mantienen, en una metáfora que denomina “inercia intelectual” que expresa la tendencia a conservar las construcciones gratuitas de nuestra mente. Compara la situación de la época (1923) con la formulación de la gravitación universal por Newton que no se llegó a aceptar, aunque justificadamente, por el rechazo a admitir la acción a distancia inmediata.

Cita las tres comprobaciones experimentales sobre la relatividad general, el movimiento del perihelio de mercurio, la desviación de la luz y el corrimiento de las rayas espectrales, indicando que todavía hay científicos que las ponen en duda buscando errores en dichas mediciones o reinterpretándolas mediante concepciones teóricas que las expliquen. Respecto a algún caso concreto de discusión, Cabrera contesta que “esta objeción sería de gran fuerza si no se tratase de tres fenómenos absolutamente independientes y, además, los únicos que han podido preverse”. Ante la posibilidad sobre que algún resultado experimental futuro pueda poner en duda la teoría (recordemos que la tercera comprobación sobre el corrimiento espectral todavía no había dado resultados concluyentes) Cabrera afirma respecto a la relatividad

... lo más esencial de ella se encuentra suficientemente consolidado por la lógica acabada de su construcción y porque ha permitido la

---

<sup>42</sup> *Ibidem*, p. 11.

interpretación de varios hechos de la experiencia que escapaban a las teorías clásicas, sin perder ni una sola de las conquistas que ellas lograron.<sup>44</sup>

Esta última frase es importante porque Cabrera quiere destacar que no es correcta la idea de que la relatividad suponga el derrumbe de toda la arquitectura de la física matemática como herramienta válida, es decir como visión instrumental de la Ciencia. Insiste en la finalidad de su libro, que advierte no es de carácter didáctico, sino

... llevar al ánimo de mis oyentes y lectores la convicción de que las alteraciones impuestas por el principio de relatividad en los conceptos fundamentales de la Filosofía natural están impuestas por la observación y la experiencia, y vienen a depurar nuestro conocimiento positivo de ciertos postulados que subrepticamente se introdujeron en él.<sup>45</sup>

Cabrera quiere significar la importancia de la Teoría de la Relatividad

... que si de momento parece de escasa trascendencia para la Ciencia que más directamente procura la resolución de los problemas concernientes a nuestra vida material, la tiene incalculable para la Filosofía natural, puesto que supone una revolución profunda de nuestra concepción del Universo.<sup>46</sup>

En el primer capítulo Cabrera anuncia que va a intentar realizar, respecto del principio de relatividad “la historia del pensamiento científico en sus relaciones con el referido principio”. Así trata todos los aspectos de la mecánica y el electromagnetismo clásicos relacionados con el movimiento relativo, detallando las contradicciones conocidas. Siempre lo hace con perspectiva histórica, tratando también el origen histórico del postulado del éter y los problemas que había en su detección. Cita Cabrera con detalle otros experimentos menos conocidos que los de Michelson, como los de Trouton y Noble así como las propuestas teóricas de Fresnel, Stokes y otros. Respecto al experimento de Michelson y Morley considero significativo el siguiente párrafo por su claridad en cuanto a las consecuencias:

No se trata de un experimento aislado, tal circunstancia quitaría un poco de valor a las consecuencias de él derivadas, no obstante la gran precisión del mismo y la variedad de condiciones en que fue ejecutado, gracias a todo lo cual, ha podido resistir a una crítica bien persistente que apenas sí ha cesado.<sup>47</sup>

A continuación trata el principio restringido de relatividad con el detalle del grupo de transformaciones de Lorentz y el postulado de invarianza de todas las leyes de la física para transformaciones de sistemas de coordenadas. Desarrolla todas las consecuencias conocidas. En general, en estos temas no hay un tratamiento novedoso respecto de otros textos, salvo en el de la masa, por la insistencia que le da

---

<sup>43</sup> Hay una reedición del año 1995, con ensayo introductorio de Fernández-Rañada (*ETS Arquitectura, Madrid*, 1995). Las referencias son de esta edición.

<sup>44</sup> Cabrera, *Principio de relatividad*, 1923, edición de 1995, p. 33.

<sup>45</sup> *Ibidem*, p. 34.

<sup>46</sup> *Ibidem*, p. 34.

<sup>47</sup> *Ibidem*, p. 66.



Cabrera en la confirmación experimental y que, por la novedad indicada, resumo a continuación:

Del desarrollo de la dinámica para el caso relativista se llega a la expresión de la fuerza en función de las componentes longitudinal y transversal de la aceleración, de las que se implican una masa longitudinal y una masa transversal. Dice Cabrera que las expresiones de las masas longitudinal y transversal se han podido comprobar experimentalmente por Bohr en partículas *Beta* de sustancias radiactivas y con experimentos con electrones (cita experimentos de Guye y Neuman). También se obtiene la expresión sobre la equivalencia masa y energía. Detalla la situación actual de la parte experimental, en el sentido en que en esa época todavía no se podían medir variaciones tan pequeñas de masa, aunque apunta la posibilidad de dichas mediciones en los procesos radiactivos, concretamente en el análisis de los pasos intermedios por los que se pasa en la transformación de uranio en radio.

Aplica Cabrera también el principio de relatividad al electromagnetismo, pero ahora por el tratamiento dado ya considera dicho principio tanto válido para la electrodinámica como para la cinemática.

Dedica un apartado completo a las nociones de espacio y tiempo en el Universo de Minkowski. El siguiente párrafo es un ejemplo del planteamiento que Cabrera quiere dar a su libro, además de una brillante reflexión:

El grupo de Lorentz establece una conexión entre el espacio y el tiempo que ya hemos visto choca fundamentalmente con las nociones suministradas por la ciencia clásica y con nuestros hábitos mentales, seguramente porque estos últimos son el resultado de una educación guiada por aquella. Para juzgar con sana crítica el valor de dicha contradicción es indispensable fijar hasta dónde la independencia de las nociones de espacio y tiempo, a primera vista tan lógica, puede ser el fruto del proceso histórico seguido en la acumulación del caudal de nuestros conocimientos.<sup>48</sup>

Igualmente presenta el estado de la física anterior a la nueva teoría de la gravitación de Einstein. Detalla la teoría clásica con las ecuaciones de Kepler pero también con una original profundidad respecto a asuntos que luego tendrán su justificación con la relatividad. Se citan con detalle todas las irregularidades encontradas, hasta cinco, en observaciones frente a las predicciones newtonianas, destacando la variación del perihelio de Mercurio (además reseña detallados cálculos recientes de Grossman). También da detalle de las posibles soluciones a estas anomalías.

Ante la necesidad de eliminar la acción a distancia de la teoría de la gravitación, por su carácter insostenible, Cabrera describe, de una forma muy pedagógica, el motivo por el que las nuevas ecuaciones de campo deben expresarse por una ecuación diferencial,

Pues el fenómeno que ocurre en un lugar determinado del espacio, en un tiempo también definido, ha de ser consecuencia del estado físico de la

---

<sup>48</sup> *Ibídem*, p. 89.

región que inmediatamente le envuelve en el instante anterior, y sólo de él puede depender directamente.<sup>49</sup>

Es decir, las ecuaciones de gravitación deben responder a una teoría de acciones gravitatorias por contigüidad. Este aspecto posteriormente se asociará con la necesidad de generalizar el principio de relatividad a sistemas acelerados y por tanto gravitacionales, según el principio de equivalencia. Al relacionar este principio con el de la equivalencia masa-energía, se concluye la curvatura de la luz. Detalla este fenómeno incluso con cálculos según la teoría newtoniana considerando la “pensatez” de la luz. Reseña la crítica de Max Abraham a este resultado por contradecir el principio de constancia de la velocidad de la luz, pero dice que se soluciona porque sólo es válido en sistemas inerciales. A continuación explica teorías alternativas a la gravitación realizadas por Abraham, Nordström y Mie, basadas en reproducciones del electromagnetismo y justificando el por qué resultaron fallidas. Para el principio de equivalencia describe también con detalle además del experimento de Eötvös otros que se realizaron con sustancias radiactivas para medir el peso de la radiación

Para explicar cómo se desarrollan las ecuaciones de campo gravitatorio, Cabrera razona el motivo conceptual de cómo se originan dichas ecuaciones. Las explicaciones que da son detalladas y convincentes. En síntesis el razonamiento de Cabrera es el siguiente: volviendo a la característica de las acciones gravitatorias por contigüidad, éstas deben cumplir con el principio de relatividad, por lo que sus ecuaciones de campo deben, a su vez, satisfacer las condiciones de transformación según dicho principio. Por el mismo principio de relatividad, en el espacio en el que está definida esa acción gravitatoria, se producen unos cambios que deben mantener invariante el elemento diferencial de línea. Este elemento debe ser de la forma

$$ds^2 = \sum g_{\mu\nu} dz_\mu dz_\nu .$$

Esta expresión la deduce Cabrera de forma muy didáctica partiendo de un sistema de referencia en el que sea válida la expresión del elemento de línea

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2 .$$

Este elemento debe mantenerse invariante bajo un sistema de coordenadas  $dz_\mu$  en donde las relaciones entre coordenadas son  $x_i = f_i(z_1, z_2, z_3, z_4)$ . Sustituyendo las diferenciales de las coordenadas  $dx_i = \sum \left( \frac{\partial f_i}{\partial z_\mu} \right) dz_\mu$ , para  $\mu=1, \dots, 4$ ; en la expresión  $ds^2$  dependiente de las coordenadas  $x$  se llega a la dependiente de las coordenadas  $z$ .

A continuación aplica el criterio de que siempre debe haber intervalo mínimo entre dos sucesos, que se expresa mediante la anulación de la variación infinitesimal del elemento de línea integrado para los valores correspondientes a los sucesos, es decir sean dos sucesos A y B tenemos que  $\delta \int ds = 0$ . A partir de esta condición sobre el elemento diferencial de línea expresado en la notación tensorial anterior se llega, después de explicar las causas de los diferentes pasos concienzudamente,<sup>50</sup> a las

<sup>49</sup> *Ibidem*, pag. 113.

<sup>50</sup> De hecho, de los múltiples libros sobre relatividad consultados, éste es uno de los que mejor y de forma más profunda explica los motivos conceptuales asociados a las expresiones.

ecuaciones de campo de Einstein ya expuestas en el capítulo de introducción histórica a la relatividad. Cabrera las detalla en diferentes expresiones, según aproximaciones y condiciones generales. También desarrolla las soluciones de las ecuaciones para el cálculo del perihelio de mercurio y la curvatura de la luz. Durante el proceso de desarrollo de las ecuaciones de campo explica el significado de la curvatura del espacio-tiempo. Posteriormente describe el intento de generalización de dichas ecuaciones, según la reciente teoría de Weyl.

*Principio de Relatividad* es un libro intenso, a la vez didáctico pero complejo. Desde luego no es un libro de divulgación, sino que requiere conocimientos algo más que básicos de física y matemáticas. El tratamiento experimental también es detallado tanto en la descripción de los experimentos y sus consecuencias, como en la cantidad de ellos que considera, algunos poco conocidos y casi nunca citados en la literatura de divulgación media de la relatividad. A pesar de este carácter profundo, quiero insistir en la orientación pedagógica que toma el texto. En mi opinión, probablemente sea uno de los mejores libros escritos sobre relatividad en esa época, no sólo en España. Me parece más completo que los aparecidos en España de Eddington, Born, o el del propio Einstein. Esta fue la última aportación realmente representativa de Cabrera, ya que posteriormente se limitó a artículos de divulgación o cursos generales.

Años más tarde, en 1927 y 1931, Cabrera se limitó a publicar dos artículos de carácter filosófico y divulgativo en la *Revista de Occidente*.<sup>51</sup> La aportación más señalada es el tratamiento de cuestiones cosmológicas, como el carácter finito pero ilimitado del Universo. También expuso el debate Einstein-De Sitter sobre si la estructura cerrada del Universo incluye la variable tiempo o no, es decir si tenemos un Universo cilíndrico según Einstein o esférico según de Sitter.

En 1934 impartió un curso de introducción a la relatividad en la Universidad Internacional Menéndez Pelayo. El texto asociado no se ha llegado a editar. González de Posada nos hace partícipes de que dispone del manuscrito de dicho curso y que se espera su futura edición.<sup>52</sup> En Enero de 1936 su discurso de ingreso en la Real Academia de la lengua versó sobre la evolución de los conceptos físicos y lenguaje, donde trata aspectos de relatividad pero sin novedades respecto a lo anteriormente publicado.

Ya en el exilio se interesó Cabrera por una teoría de la gravitación alternativa a la de Einstein, elaborada por Birkhoff, aspecto sobre el que volveremos con más detalle en el Capítulo 4, en el apartado dedicado a los españoles en el exilio.

Resumiendo, las aportaciones de Cabrera son las siguientes:

- Realizó un trabajo continuado de difusión de la relatividad, preocupándose por la exposición pedagógica de la misma, con múltiples conferencias y escritos, significándose además en la estancia de Einstein en Madrid.

---

<sup>51</sup> Cabrera, "Proceso de extensión del conocimiento", *Revista de Occidente*, 1927; "La imagen actual del Universo según la relatividad", *Revista de Occidente*, 1931.

<sup>52</sup> González de Posada, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad*, 1995, p. 89.

- Mostró un profundo interés por la evolución histórica de la relatividad y sus comprobaciones experimentales, así como por sus implicaciones conceptuales y filosóficas.
- Interpretó las resistencias a aceptar la relatividad, justificándolas en lo que denominaba “inercia intelectual” basada en la formación en los conceptos clásicos de la física. Sin duda, Cabrera era consciente de esta inercia por ser consciente de que se había producido en él mismo. Este es un gran mérito suyo, ya que no todo el mundo tiene consciencia de sus propios prejuicios intelectuales.
- La evolución en su pensamiento respecto al éter y la relatividad se plasma a lo largo de sus escritos desde 1908 hasta 1921. Sus escritos a lo largo de los años permiten comprobar la evolución de su pensamiento de una forma muy enriquecedora para el historiador de la Ciencia. Este aspecto, junto con el indudable cocimiento que tenía Cabrera de la situación de crisis de la física prerrelativista, me ha permitido realizar unas consideraciones sobre patrones comunes de recepción en España que expongo en las conclusiones de la tesis. Ahora simplemente adelanto, en este sentido, que no coincido con algunos historiadores en que la relatividad en España se aceptó de forma general sin mucho debate por el escaso conocimiento, entre los científicos españoles, de dicha situación de crisis.
- Su libro de 1923 marca un hito como exposición completa y sistemática de la relatividad, teniendo actualmente una indudable vigencia por su carácter didáctico.

### 3.2.3. JOSÉ MARÍA PLANS (1878-1934), LA VISIÓN MATEMÁTICA

José María Plans y Freyre fue uno de los físico-matemáticos más brillantes de su época, Catedrático de *Mecánica Racional* en la Universidad de Zaragoza y posteriormente de *Mecánica Celeste* en la de Madrid, en 1917 ingresó en el *Laboratorio y Seminario Matemático*, dedicándose principalmente a la relatividad y el cálculo diferencial absoluto. Si bien en la relatividad comparte el protagonismo en su difusión con Cabrera y Terradas, es reconocido como el introductor y mayor especialista español del cálculo diferencial absoluto, la herramienta matemática de la relatividad general, aportando además planteamientos originales en aplicaciones de la mecánica relativista al estudio de casos concretos.<sup>53</sup>

Ganó dos premios convocados en la Academia de Ciencias de Madrid, en 1921 con *Nociones fundamentales de Mecánica relativista* y en 1924 con *Nociones de Cálculo Diferencial Absoluto y sus aplicaciones*, dos obras fundamentales. El de 1921 fue el primer libro completo y sistemático sobre relatividad especial escrito en España,

---

<sup>53</sup> Para más información, véase Fernando Peña, “D. José María Plans y Freyre. Su vida”, *Revista Matemática Hispanoamericana*, vol. 9, 1934, p 81-94; Navarro Borrás, “D. José María Plans y Freyre”, *Anales de la Universidad de Madrid*, 1934. Luis Miralles Conesa, “José María Plans y Freire (1878-1934)”, *Boletín de la Sociedad Castellonense de Cultura*, tomo LXXV, 2000, p 255-280.

aunque es un libro eminentemente matemático. Introdujo algunos aspectos originales en el tratamiento de la teoría, que analizaremos posteriormente. Sólo adelantamos que esta originalidad se refiere al tratamiento de algunos aspectos de la mecánica relativista, no en cuanto aportación a la misma desde un punto de vista teórico. También publicó un trabajo en los *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* que supuso una visión original sobre el tratamiento de la curvatura de los rayos luminosos.

Plans, como físico, completó su contribución con dos artículos que analizaban los últimos experimentos que parecían poner en duda la relatividad, pero para el matemático que había en él, la relatividad general era el principal tema científico del momento, probablemente por la importancia de las matemáticas en su formulación. En una conferencia de 1920, “Proceso histórico del cálculo diferencial absoluto y su importancia actual”<sup>54</sup>, Plans resaltó los casos en los que un fenómeno físico da origen a abstracciones matemáticas y éstas, a su vez, permiten posteriormente explicar fenómenos físicos. Los ejemplos que puso fueron las geometrías no euclidianas de Lobachevski y Bolyai para la relatividad especial y de Riemman y el cálculo diferencial absoluto para la relatividad general. Destaca que el cálculo diferencial absoluto es el lenguaje adecuado para el estudio del espacio-tiempo de cuatro dimensiones según la geometría de Riemman, por lo que además es el lenguaje adecuado para la relatividad general.

Una parte fundamental de Plans en su dedicación a la relatividad y las matemáticas asociadas, fue la dirección de tesis y trabajos de investigación. El caso más destacado fue el de Puig Adam cuya obra *Resolución de algunos problemas elementales en mecánica relativista restringida* (1923) también se considera una contribución original en el tratamiento de la relatividad. Analizaremos en detalle esta obra en el apartado 3.5, dedicado a las contribuciones originales. Plans y Puig Adam son un ejemplo claro del interés de los matemáticos españoles por el carácter de representación formal de la teoría y no tanto por los puramente físicos, y menos aun filosóficos o con características de divulgación popular.

Incluso los libros ya citados de Plans (1921 y 1924) fueron reseñados por otros matemáticos en revistas de divulgación, como *Ibérica*, resaltando su importancia tanto por la contribución en la matemática española como por la propia difusión de la relatividad en la comunidad científica, de hecho fueron manuales usados por los físicos y matemáticos. El libro de 1921 tuvo una trascendencia fundamental en la formación de la comunidad científica en España sobre relatividad.

Como parte de su labor divulgadora de la relatividad, también realizó traducciones del alemán e inglés de libros completos sobre relatividad, como el de Freundlich *Los fundamentos de la teoría de la gravitación de Einstein* y el de Eddington *Espacio, tiempo y gravitación*.<sup>55</sup>

El primer trabajo de Plans sobre relatividad data de 1918, “Sobre el movimiento hiperbólico de Born en la cinemática relativista”<sup>56</sup>. Analiza un caso concreto en el que

<sup>54</sup> Congreso de la Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias, Oporto, 1921, tomo I, sec. c. Matem., p 23-44.

<sup>55</sup> Freundlich, *Los fundamentos de la teoría de la gravitación de Einstein* / prólogo de Alberto Einstein., Madrid, 1920; Eddington, *Espacio, tiempo y gravitación*, Calpe, Madrid, 1922.

<sup>56</sup> Academia de Ciencias de Zaragoza, 1918, tomo 3, p. 115-123.

la mecánica clásica es una aproximación de la relativista para bajas velocidades, como es el movimiento de un punto al que se aplica una aceleración constante tanto en magnitud como en dirección, basándose en la propuesta de Born de 1909. Plans obtiene que en la mecánica relativista la solución de la ecuación del movimiento es una trayectoria que corresponde con una hipérbola. En una aproximación clásica con velocidades pequeñas respecto a las de la luz la trayectoria resultante es la de una parábola. Veamos su razonamiento, un ejemplo de síntesis y de transcripción matemática clara y profunda.

Parte Plans de las ecuaciones de las componentes de la velocidad y aceleración transformadas según las ecuaciones de Lorentz, a las que aplica el criterio de aceleración constante en magnitud y dirección, considerando sólo una dirección paralela a uno de los ejes de referencia. Al prescindir de los términos de segundo orden  $v/c^2$  y  $v^2/c^2$  por la aproximación clásica se llega a la conocida ecuación del movimiento de la cinemática clásica.

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 .$$

Aplicando, siguiendo la notación de Minkowski, el cambio  $u=ct$ , la ecuación queda

$$x = x_0 + \frac{v_0}{c} u + \frac{1}{2c^2} a u^2$$

que es de la forma  $x = m + nu + pu^2$

es decir una ecuación de segundo grado y por tanto de una parábola, con lo que la partícula describe un movimiento parabólico en la aproximación clásica.

Si no se realiza dicha aproximación la ecuación del movimiento resultante (después de explicar todos los pasos matemáticos con precisión) es

$$(x - x_0)^2 - c^2 \left(t + \frac{bc}{a}\right)^2 = \frac{c^4}{a^2} \text{ expresión que es de la forma}$$

$$(x+m)^2 - (u+n)^2 = p^2 \text{ correspondiente a una hipérbola equilátera.}$$

Así, la línea del universo de sucesos de una partícula tiene asociada una hipérbola cuyos parámetros se deducen de la ecuación de movimiento relativista. De la misma manera que en el caso del movimiento clásico se define un radio de curvatura para el movimiento, en función de los parámetros de la parábola asociada, en la cinemática relativista se asocia una hipérbola de curvatura, según término definido por Minkowski.

Poco después publica, ya en el órgano oficial de los físicos españoles, el trabajo "*Nota sobre la forma de los rayos luminosos en el campo de un centro gravitatorio según la teoría de Einstein*"<sup>57</sup>. Consiste en una nueva forma de obtener la ecuación asociada al ángulo de deflexión de los rayos luminosos. Plans comienza citando el libro de Eddington *Report on the Relativity. Theory of Gravitation*, (1918) para indicar que la desviación de la velocidad de la luz en un centro gravitatorio es de forma similar a la del índice de refracción de un medio de propagación. Debido a esta analogía

<sup>57</sup> *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, vol. 18, 1920, p. 367-374.

formal, el problema en cuestión es equivalente al de hallar la trayectoria de la luz en un medio cuyo índice de refracción se modifica según capas esféricas concéntricas.

Posteriormente y aplicando un principio general de economía de las leyes físicas, se establece que la trayectoria luminosa debe ser tal que se haga mínima la integral del índice de refracción sobre la superficie considerada. Resolviendo la integral y aplicando herramientas puramente algebraicas concluye que la línea buscada es una cónica. Calcula los focos y excentricidad de la misma demostrando que dicha curva debe ser una hipérbola. Deduce que la desviación del rayo luminoso procedente de una estrella por efecto del campo gravitatorio del Sol debe ser el ángulo de las asíntotas de la hipérbola correspondiente a la trayectoria en cuestión. La fórmula de dicho ángulo es la misma que la de Einstein,  $\alpha = 4m/R$ , donde R es la distancia del rayo al cuerpo de masa m.

Este artículo se suele citar como una contribución original a la relatividad en España<sup>58</sup>, pero conviene matizar esta opinión. Esta valoración se analiza en el apartado 3.5 “Contribuciones originales”, donde se valora dicha originalidad.

Llegamos ahora a una de las obras cumbre de Plans, *Nociones fundamentales de Mecánica Relativista* (1921), memoria premiada por la *R. Acad. Ciencias de Madrid* en 1919. En el prologo el propio Plans advierte que “no busque aquí el lector un estudio de las experiencias que han servido de base a la teoría de la relatividad ni una exposición detallada de los fundamentos de la misma”, comentando que además de las obras extranjeras que se han traducido o están traduciéndose, se van a publicar extensas obras de Terradas y Cabrera (de Terradas no se llegó a publicar nada posteriormente salvo la entrada en la *Enciclopedia Espasa*), “de modo que no ha de faltar literatura relativista”. La misión de este libro en sus propias palabras es “un desarrollo matemático elemental de la Mecánica relativista” que fue la base de la relatividad general y teoría de gravitación, en su opinión “totalmente revolucionaria”. Plans dice que siguió en gran parte la obra de Laue, la misma que en 1912 había sido analizada por Terradas.

Comienza con el desarrollo del principio de relatividad en Mecánica Clásica basado en las transformaciones de Galileo. Demuestra matemáticamente que con estas ecuaciones de transformación no se altera la forma de las ecuaciones de la dinámica, pero sí la ecuación de propagación ondas electromagnéticas. A continuación deduce matemáticamente, con todo detalle en los pasos deductivos, las nuevas ecuaciones de transformación para mantener invariante la forma de la ecuación de ondas citada. También indica el carácter de grupo que tienen estas nuevas ecuaciones de transformación, a las que Plans denomina la transformación simple de Lorentz.<sup>59</sup>

---

<sup>58</sup> “La nota de Plans fue una de las pocas contribuciones originales sobre relatividad producidas en España en los años 1920”, Glick, 1986, p. 120.

<sup>59</sup> Por carácter de grupo se entiende por un lado, que aplicando dos veces las ecuaciones de transformación (por dos cambios de coordenadas) se obtiene otra transformación manteniendo la misma forma de las ecuaciones, y por otro que la transformación inversa también da la misma forma de las ecuaciones de transformación. Para los matemáticos el hecho de que unas transformaciones formen un grupo siempre ha sido fundamental para la solidez de las mismas, en el sentido de que si unas ecuaciones de transformación no forman un grupo no pueden ser universalmente válidas. De hecho Plans en este trabajo insiste en este aspecto.

La coexistencia de dos principios de relatividad, uno con el grupo de transformaciones de Galileo para los fenómenos mecánicos y otro con el grupo de Lorentz para los ópticos o electromagnéticos, además de ser poco verosímil y contraria a la unidad científica, equivalía en cierto modo a la anulación del referido principio, pues tratándose de cuestiones complejas, en que intervengan a la vez fenómenos de ambas clases, cabría hablar (como dice Freundlich) de un sistema privilegiado. En tal situación, Einstein tuvo la valentía de establecer el principio de relatividad único, a base de la transformación de Lorentz, sin arredrarse ante la obligada consecuencia de haber de modificar convenientemente los conceptos y teoremas de la Mecánica clásica, a fin de que le satisfagan.<sup>60</sup>

Continúa Plans con la interpretación de Minkowski de considerar el tiempo como otra coordenada. Demuestra que las ecuaciones de Lorentz son una rotación entre sistemas de coordenadas. Esta rotación se puede interpretar tanto en la geometría euclidiana como en la de Lobachevski.<sup>61</sup> Fijémonos que aquí todavía no se usa la geometría no euclídea con interpretación física, sino sólo como herramienta matemática.

En otro apartado desarrolla la transformación completa de Lorentz, es decir considerando que los dos sistemas de coordenadas se mueven uno respecto a otro variando los tres ejes espaciales, por lo tanto “habrá que adoptar fórmulas de transformación ortogonal en que intervengan las cuatro coordenadas”. Para este caso Plans demuestra que se mantiene la invarianza de la expresión  $x^2+y^2+z^2-c^2t^2$ . Plans explica la interpretación geométrica de Minkowski, en la que intervienen ecuaciones asociadas a hipérbolas equiláteras para las transformaciones simples y variedades hiperbólicas en tres dimensiones para el caso de la transformación completa.

A continuación se define y trata el cálculo vectorial en el Universo de Minkowski para justificar la necesidad de usar el cálculo tensorial. De esta manera las ecuaciones de transformación completas, es decir usando las cuatro componentes, se simplifican como transformaciones entre tensores. Se sigue con el tratamiento de la cinemática llegando al teorema de composición de velocidades de Einstein y deduciendo que la velocidad de la luz es un invariante bajo la transformación de Lorentz. También desarrolla las ecuaciones relativistas para la aceleración.

Para el caso de la cinemática, Plans desarrolla la aplicación de la geometría no-euclídea de Lobachevski. Cita en su desarrollo que el primero que trató este tema fue Sommerfeld en 1909, habiendo usado Plans el propio texto. Esto es un ejemplo importante de que Plans profundizó en la relatividad no solo en lo relativo a su forma original, según la obra de Einstein, sino también en las contribuciones importantes de otros científicos. Como curiosidad interesante Plans cita como obras de referencia

---

<sup>60</sup> Plans, *Nociones fundamentales de Mecánica Relativista*, Gráficas Reunidas, Madrid, 1921, p. 10.

<sup>61</sup> El seguimiento matemático que hace Plans es complejo y realmente no se puede resumir, sino que habría que plasmarlo tal cual, por lo he decidido realizar la labor de interpretarlo. Aunque al no mostrar el lenguaje matemático se corre el riesgo de perder rigor. Más aún cuando Plans hace uso casi exclusivo de dicho lenguaje matemático. Esto es aplicable también al resto.



para este tema, entre otras internacionales, la obra de J.M. Bartrina “Tratado didáctico de las Geometrías no euclideas” de 1908.

En otro capítulo desarrolla las ecuaciones de Maxwell y aplica las transformaciones de Lorentz para los campos eléctrico y magnético (considerando todas las componentes de dichos campos). Es decir obtiene las fórmulas de transformación para las componentes de las intensidades de los campos eléctrico y magnético y también para la fuerza que se ejerce en un campo electromagnético sobre una carga en movimiento. Previamente demuestra que la carga eléctrica es un invariante Lorentz (es decir el valor de la carga se conserva ante un cambio de coordenadas), pero no ocurre así con la masa, lo que también demuestra. La demostración es curiosa porque supone inicialmente que la masa se conserva en las transformaciones de las relaciones  $F_x = m j_x$  (usa esta notación, es decir  $j$  para la aceleración). Se llegaría entonces a la conclusión de que la forma de las ecuaciones de transformación para la fuerza, en función de la aceleración, no se conserva. Desarrollando las transformaciones de dicha relación entre fuerza y aceleración obtiene las de la masa, que no es invariante. Como el desarrollo lo hace para todas las componentes, suponiendo un desplazamiento del movimiento en un solo componente se deduce la existencia de una masa longitudinal y de una masa transversal (con masa entendida

como inercia) cuyo coeficiente es  $\frac{m_l}{m_t} = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

Considerando las cuatro dimensiones del Universo de Minkowski, es decir planteando una componente de la fuerza respecto de la coordenada temporal, denominada fuerza de Minkowski, hace un paralelismo entre las ecuaciones de movimiento relativistas de una partícula en el espacio de tres dimensiones con las equivalentes de la misma partícula en el Universo de Minkowski, que son las ecuaciones diferenciales de la línea del universo en forma paramétrica. También demuestra la relación entre fuerza y energía.

Uno de los aspectos más originales que dan idea de la profundidad de esta obra de Plans es el capítulo VII “Modificaciones necesarias en las ecuaciones de la Mecánica Analítica Clásica”.<sup>62</sup> Plans obtiene las nuevas ecuaciones de Lagrange y las ecuaciones canónicas de Hamilton en mecánica relativista y desarrolla también el paso de las ecuaciones en coordenadas cartesianas a coordenadas cualesquiera para el caso relativista. Concluye que a las ecuaciones del movimiento de la mecánica relativista también se les puede dar la formulación analítica o lagrangiana.

---

<sup>62</sup> La Mecánica Analítica fue desarrollada por Lagrange y Hamilton como aplicación de las ecuaciones clásica de la mecánica, en vez de en coordenadas cartesianas, en coordenadas de cualquier índole, denominadas coordenadas generalizadas. Así estas coordenadas pueden ser paramétricas (en función de ángulo y radio), coordenadas móviles, coordenadas curvilíneas, coordenadas que incluyan el centro de masas en un sistema de muchas partículas, etc. En definitiva si tenemos un sistema de  $n$  partículas con coordenadas cartesianas de cada partícula  $x_1, y_1, z_1, \dots, x_n, y_n, z_n$  podemos expresar este sistema en función de las  $3n$  coordenadas generalizadas  $q_1, q_2, \dots, q_{3n}$  que a su vez son función de todas las coordenadas cartesianas de todas las partículas, incluyendo también el tiempo ya que debemos considerar el caso de coordenadas móviles. Por lo tanto tenemos  $q_1 = q_1(x_1, y_1, z_1, \dots, x_n, y_n, z_n; t) \dots \dots q_{3n} = q_{3n}(x_1, y_1, z_1, \dots, x_n, y_n, z_n; t)$ .

Los dos últimos capítulos están dedicados a la relatividad general, también con una profundidad matemática que requiere del lector un amplio conocimiento sobre el asunto. Después de introducir la teoría tensorial, la aplica para exponer matemáticamente, a partir del principio de equivalencia, el hecho de que “a toda transformación de coordenadas corresponde un movimiento de un sistema de referencia y, por tanto, según el principio anterior, un campo gravitatorio. Por otra parte, toda transformación de coordenadas da una expresión del cuadrado del elemento lineal  $ds$  que varía según los casos; luego tal expresión depende del campo gravitatorio”.

Una condición es que el intervalo espacio-temporal debe ser invariante, ya que las ecuaciones asociadas a las leyes físicas deben ser invariantes con respecto al  $ds$  que corresponda en cada caso. Es decir si tenemos  $ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$  los coeficientes  $g_{\mu\nu}$  definen la métrica espacio-temporal en la que nos movemos, es decir la geometría intrínseca de una superficie. Calcula cómo se transforman los coeficientes  $g_{\mu\nu}$ , que demuestra lo hacen según los tensores covariantes definidos previamente en la parte de cálculo tensorial.

Estableciendo que  $G$  sea el tensor expresado por la matriz

$$\begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{pmatrix}$$

plantea que debe anularse para que quede una variedad euclidiana sin curvatura (en ausencia de gravedad)  $ds^2 = \sum dx_i^2$  ( $i=1, \dots, 4$ ). Con esta condición desarrollando  $G_{ij}$  se llega a la ecuación de Einstein.

Para aplicar estas ecuaciones a casos concretos, es importante la aclaración previa de Plans, en clara referencia a tópicos antirrelativistas de la época:

En la Mecánica relativista restringida de Lorentz-Einstein no se destruye enteramente el edificio clásico; modificando convenientemente el concepto de masa, subsiste la primitiva idea de fuerza. En la Mecánica general einsteniana ya desaparecen los últimos vestigios de la obra de Galileo-Newton; la antigua noción de fuerza queda descartada por completo y es sustituida por el carácter peculiar que adquiere en cada caso la métrica de la variedad espacio-tiempo, o sea por la forma que toma la expresión  $ds$ .<sup>63</sup>

De hecho advierte que uno de los aspectos más sólidos de la teoría einsteniana es precisamente que en primera aproximación se reduce a la newtoniana y en segunda aproximación soluciona aspectos conocidos en los que fallaba la clásica como es el retroceso del perihelio de Mercurio<sup>64</sup>.

<sup>63</sup> Plans, *Nociones fundamentales de Mecánica Relativista*, Gráficas Reunidas, Madrid, 1921, p. 128.

<sup>64</sup> Algunos autores utilizan la expresión "avance", otros "retroceso", e incluso también "corrimiento" o "movimiento". El que se considere avance o retroceso es una cuestión relativa a la medida de la órbita, por lo que no tiene importancia.

Uno de los aspectos más interesantes de la obra de Plans es que realiza todo el desarrollo matemático para deducir, con todo detalle en los sucesivos pasos matemáticos, a partir de las ecuaciones de la relatividad general, el cálculo de la variación del perihelio de los planetas y la deflexión de los rayos de luz en un campo gravitatorio. Con estas fórmulas es como se realizan los cálculos para obtener el avance del perihelio de mercurio y la deflexión para el caso del eclipse de 1919 con las posiciones relativas medidas por observación astronómica. A partir de estas ecuaciones, Plans obtiene las del movimiento de un punto y considera la aplicación al caso de un centro gravitatorio único llegando (el desarrollo es largo y complejo) a la ecuación de la trayectoria de un planeta alrededor del sol en función de la excentricidad de la elipse asociada a la trayectoria calculada, y del ángulo que da la posición del perihelio del planeta.

La formula obtenida es  $\delta\omega = \varphi \frac{12\pi^2 a^2}{c^2 T^2 (1-e^2)}$ .

Esta formula en aproximación es la misma que la calculada según la dinámica de Newton. Aplicándola a los valores de la órbita de mercurio da el resultado de 42"9 por siglo, aunque advierte que el valor que puede medirse no es en sí el de la desviación sino el de ésta multiplicada por la excentricidad, que da 8",82, discrepando de la medida real en sólo 0",5 es decir con un error menor del 6% (con medidas del año 1921).

También desarrolla Plans las ecuaciones para obtener la de desviación de la luz en un campo gravitatorio, resultando la fórmula  $\alpha = 4m/R$  (donde R es la distancia del rayo al cuerpo de masa m). Previamente, en el desarrollo se ha obtenido que la curva de la luz debe corresponder a una hipérbola de la que calcula su excentricidad, siendo  $\alpha$  el valor del ángulo de las asíntotas de la referida hipérbola. El valor obtenido es 1",7, habiéndose comprobado a partir del eclipse de 1919 por un lado un valor de 1"98 con error de  $\pm 0"12$  y  $1"61 \pm 0"30$

Aquí Plans anota que la misma fórmula la ha obtenido Levi-Civita de forma muy elegante en un artículo de 1920 y que expuso su autor en conferencia a la que asistió él mismo en Barcelona y que saldría (como así fue) publicado bajo la dirección del *Institut d'Estudis Catalans*. Recordemos que el mismo Plans también obtiene esa misma formula por otro método según artículo analizado de 1920 en los *Anales de la Sociedad Española de Física*.

Plans desarrolla además la ecuación para obtener el corrimiento de las rayas espectrales hacia el rojo, aunque advierte que todavía no se ha podido medir. Pero cita diferentes trabajos de revistas internacionales en los que se detallan experimentos y aproximaciones obtenidas.

Por último, en las notas matemáticas aclaratorias realiza todo el desarrollo para deducir cómo de las ecuaciones de gravitación de Einstein se obtienen las de Newton para campos gravitatorios débiles. Este desarrollo matemático no es nada sencillo. Este aspecto es de especial importancia para Plans, porque el hecho de que la Mecánica Clásica sea un caso límite de la relativista es un factor a favor de ésta última. De hecho, su primer trabajo de 1918 se orienta en este sentido, con la

consideración del movimiento hiperbólico en mecánica relativista que se aproxima, como caso límite, al parabólico de la mecánica clásica.

No se conoce en la literatura relativista española en muchos años, ningún caso en el que se concretice con desarrollo matemático tan riguroso, deducciones detalladas y resultados en forma de ecuaciones con soluciones numéricas. Se ve aquí un intento de Plans de hacer creíble toda la matemática asociada a la relatividad, dejando palpable el esfuerzo tanto del autor, como del lector, para seguir los cálculos. Parece que nos está indicando que para los casos anteriores ahí están todos los detalles de su deducción, que no son rebatibles, cuando dice respecto el corrimiento de las rayas espectrales

Este efecto todavía no ha podido comprobarse con certeza y, por haberse creído al principio que los resultados de la experiencia le eran contrarios, ha sido argumento esgrimido por los adversarios o poco entusiastas de la teoría. Pero en los últimos tiempos parece que se va adelantando en el camino de su comprobación.<sup>65</sup>

La siguiente obra fundamental en la carrera profesional de Plans es *Nociones de Cálculo diferencial absoluto y sus aplicaciones*, (R. Acad. Ciencias de Madrid, 1924), considerada como la obra introductoria de la herramienta matemática de la relatividad general en España y que fue objeto de estudio por la mayoría de los físicos y matemáticos españoles de la época. Es un libro avanzado de matemática teórica, en el que trata la notación simbólica de Christoffel y Riemman, los sistemas covariantes y contravariantes en sistemas de funciones de  $n$  variables. Se analizan los invariantes de Ricci, las formas diferenciales cuadráticas y aplicaciones geométricas como la curvatura riemanniana, el cálculo tensorial absoluto y finalmente la aplicación de todo lo anterior a las ecuaciones gravitatorias de Einstein.

Plans plantea la importancia del carácter absoluto del cálculo diferencial, en el sentido de que estudia las cuestiones en que interviene la forma diferencial cuadrática fundamental, (recordemos que un caso de forma diferencial cuadrática es

$ds^2 = \sum g_{rs} dx_r dx_s$  desde  $r,s=1$  hasta  $r,s=n$ ), valiéndose de ecuaciones de carácter absoluto, es decir que se verifiquen para cualquier tipo de coordenadas o variables que se adopten.

A pesar de ser un libro difícil, es el más completo de la época para poder seguir diferentes aplicaciones físicas del formalismo matemático. En mi opinión, lo más valioso de esta obra es que se aplica a casos prácticos de la física. Por ejemplo, aplica el desarrollo de Riemman para espacios de curvatura constante, hace uso de los sistemas covariantes y contravariantes para su aplicación en la Dinámica de Sistemas en formalismo lagrangiano, obteniendo de esta forma las ecuaciones de Maxwell en coordenadas cualesquiera, así como la ecuación de propagación del calor. Plantea la particularización del cálculo diferencial absoluto de Ricci y Levi-Civita en el cálculo tensorial, de trascendental importancia, primero en la relatividad restringida y luego en

---

<sup>65</sup> Plans, *Nociones fundamentales de Mecánica Relativista*, Gráficas Reunidas, Madrid, 1921, p.146. En lo respectivo a los avances citados refiere Plans trabajos de Buisson y Febry en 1920, de Perot en 1921 y de Grebe en 1920.

la general. Un caso fundamental es el de los tensores, cuyos componentes son funciones de cuatro variables, y en cuya característica está el que las fórmulas de transformación de dichas componentes, al efectuar un cambio de coordenadas, son lineales y homogéneas. De esta propiedad se deduce la gran importancia de los tensores en la relatividad, en el que destaca el tensor energético. Evidentemente el caso de aplicación en el que Plans dedica mayor profundidad es en la relatividad general, realizando, mediante dos procedimientos distintos la deducción completa de las ecuaciones de la gravitación einsteinianas. Probablemente sea este el primer texto en castellano donde aparece la deducción de las famosas ecuaciones de campo, por lo que creo interesante sintetizar el razonamiento de Plans.<sup>66</sup>

El primer método de obtención de las ecuaciones de campo parte de la la métrica del continuo espacio-temporal, es decir la forma diferencial cuadrática  $ds^2 = g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$  (Plans usa aquí la notación de Einstein en la que los índices repetidos indican el sumatorio, cuyo símbolo no aparece expresamente pero sí hay que considerarlo de forma implícita). Las trayectorias de las partículas deben coincidir con las geodésicas de la variedad, de tal forma que sus ecuaciones son de la forma

$$\frac{d^2 x_h}{ds^2} + \sum_{ik} \left\{ \begin{matrix} ik \\ h \end{matrix} \right\} \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} = 0 \quad [1]$$

donde  $\left\{ \begin{matrix} ik \\ h \end{matrix} \right\}$  es el símbolo de Christoffel de tres índices de segunda especie, es decir

$$\frac{1}{2} \sum_{ikl} g^{hl} \left[ \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_l} - \frac{\partial g_{il}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{kl}}{\partial x_i} \right] \quad (\text{nota 67})$$

La deducción de estas ecuaciones la realiza Plans partiendo de la condición de la geodésica dada por  $\delta \int ds = 0$ , calculando la variación infinitesimal de  $ds$ , es decir  $\delta ds$  (donde hay que considerar la forma de diferenciación covariante) y luego integrando por partes el resultado.<sup>68</sup>

La ecuación [1] tiene que ser válida para todos los casos, también en ausencia de campo gravitatorio donde la forma diferencial cuadrática es de la forma

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2$$

y el movimiento es rectilíneo y uniforme por lo que la ecuación del movimiento debe ser

$$\frac{d^2 x_h}{ds^2} = 0 \quad (\text{sin aceleración}).$$

En definitiva la presencia de los coeficientes de Christoffel  $\left\{ \begin{matrix} ik \\ h \end{matrix} \right\}$  ó bien la expresión

<sup>66</sup> Plans, *Nociones de cálculo diferencial absoluto y sus aplicaciones*, Memorias de la R. Acad. Ciencias Madrid, Madrid, 1924, p. 215 -223.

<sup>67</sup> *Ibidem*, Plans desarrolla la teoría de los símbolos de Christoffel en el primer capítulo.

<sup>68</sup> *Ibidem*, el desarrollo matemático, que he intentado sintetizar en lenguaje natural, se puede seguir en p. 111 del libro de Plans.

$$\frac{1}{2} \sum_{ikl} g^{hl} \left[ \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_l} - \frac{\partial g_{il}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{kl}}{\partial x_i} \right]$$

es la que acusa la existencia de campo gravitatorio, de tal forma que en ausencia de gravedad debe ser  $\left\{ \begin{smallmatrix} ik \\ h \end{smallmatrix} \right\} = 0$ , con lo que se obtendrán los coeficientes  $g_{ik}$ .

Anteriormente Plans desarrolla la teoría de tensores donde destaca el tensor de Riemman-Christoffel o tensor de curvatura  $G_{\mu\nu\sigma}$ , que mediante un apropiado cambio de coordenadas puede sustituirse por el tensor reducido  $G_{\mu\nu}$ , de tal forma que

$$G = g^{\mu\nu} G_{\mu\nu}, \text{ con lo que en ausencia de materia tendremos } G_{ik} = 0.$$

Para el caso de presencia de materia, así como las ecuaciones  $G_{ik} = 0$  se corresponden con la de Laplace de la física clásica  $\Delta V = 0$ , hay que buscar las correspondientes a la ecuación de Poisson de la física clásica  $\Delta V = -4\pi k\rho$ , donde  $\rho$  es la densidad de masa y  $k$  la constante de gravitación, por lo que habrá que buscar un tensor cuya divergencia sea nula. Anteriormente Plans demuestra<sup>69</sup> que el tensor que cumple esta condición es

$$G_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} G$$

Acertadamente Plans plantea que hay que considerar como materia no sólo la que se entiende como tal, sino también toda la energía, por lo que hay que sustituir el segundo miembro de la ecuación de Poisson por un tensor que dependa de la densidad de energía. De esta forma las ecuaciones definitivas son

$$G_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} G = -\kappa T_{ik} \text{ (siendo } \kappa \text{ una constante que posteriormente, por condiciones de controno se demuestra que es } 8\pi k/c^2, \text{ donde } k \text{ es la constante de gravitación newtoniana).}$$

Estas ecuaciones también se pueden expresar de la forma

$$G_{ik} = -\kappa (T_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} T), \text{ siendo } T = g^{ik} T_{ik}.$$

Plans insiste en la consistencia de las ecuaciones de Einstein por el hecho de que en primera aproximación contengan las newtonianas. También la ecuación diferencial [1] contiene en primera aproximación la del potencial gravitatorio de la física clásica

$$\Delta V = -4\pi k\rho, \text{ donde } \rho \text{ es la densidad de masa y } k \text{ la constante de gravitación.}$$

El segundo método de obtención de las ecuaciones de Einstein parte del principio de Hamilton, que Plans aclara fue ideado por Einstein pero lo desarrollaron Hilbert, Weyl y Palatini. De este último dice Plans que va a seguir el razonamiento. La mecánica clásica puede edificarse a partir de la condición  $\delta \int H dt = 0$ , donde

$$H = L + \sum (X_1 x_1 + X_2 x_2 + X_3 x_3), \text{ (siendo } L \text{ dependiente de la configuración del sistema y de las ligaduras a las que está sujeto dicho sistema, las } X_i \text{ las fuerzas que actúan sobre el sistema y las } x_i \text{ las coordenadas espaciales).}$$

Por extensión podemos considerar una función hamiltoniana compuesta de dos sumandos, uno dependiente de la estructura del espacio-tiempo y otro de la energía

<sup>69</sup> *Ibidem*, p. 207-209.

no gravitatoria, es decir  $H=G+T$ . Aplicando la misma condición  $\delta \int H dt = 0$  y desarrollando para los componentes de  $G$  y  $T$  se llega a las mismas ecuaciones.<sup>70</sup>

Concluye Plans esta monumental obra con un capítulo dedicado a las recientes teorías de Weyl y Eddington que también trata en este mismo año de 1924, en su discurso de recepción en la Real Academia Ciencias Madrid, sobre “Algunas consideraciones sobre los espacios de Weyl y de Eddington y los últimos trabajos de Einstein”.<sup>71</sup> En esta conferencia justifica la elección del tema porque su principal dedicación era principalmente la relatividad y el cálculo diferencial absoluto y quería mostrar los últimos adelantos realizados en estas materias. Refleja el interés que a partir de la teoría de la gravitación de Einstein se despertó por la extensión que hizo Riemman a las variedades de un número cualquiera de dimensiones de la teoría de superficies de Gauss. Este interés vino por el hecho de que la métrica de la variedad determinada por la forma diferencial cuadrática  $ds^2 = \sum g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$  tuviera sentido real como la métrica de la variedad espacio-tiempo donde los coeficientes  $g_{\mu\nu}$  son los potenciales gravitatorios. A continuación indica las principales aportaciones de Levi-Civita, Herman Weyl y Eddington. De Levi-Civita destaca la noción de paralelismo en una variedad cualquiera, que ha sido el punto de partida de las nuevas teorías que extienden la relatividad general. De Weyl su intento de geometrizar el electromagnetismo y de Eddington su extensión en el tratamiento. Da cuenta de los últimos avances al respecto, que son realmente complejos de asimilar y se resumen en intentar lograr una teoría de campos unificada que geometrize toda la Física.

En relación con este tema, años más tarde insistía con el trabajo “Sobre la teoría del campo único de Einstein” (*Rev. Matemática*, 1931), donde expone la teoría acerca de la geometrización total de la física para unificar los campos gravitatorio y electromagnético, aplicando el cálculo tensorial. También es otro trabajo complejo y de alto nivel matemático, en el que desarrolla el planteamiento de la teoría del campo único y deja para un próximo artículo el establecimiento de las ecuaciones de campo. Lamentablemente, no llegó a publicar dicha continuación, ya que murió en 1934.

Como se ha comentado anteriormente, Plans también destacó por la dirección de tesis sobre aspectos matemáticos relacionados con la relatividad. Aparte del de Puig Adam, presentó a dos discípulos suyos en la *Academia de Ciencias de Madrid*, Fernando Peña y María del Carmen Martínez Sancho, cuyos artículos corresponden a recensiones propias de sus respectivas tesis doctorales. Estas interesantes contribuciones se analizan en el apartado específico dedicado a los matemáticos.

Plans entró de lleno en el debate sobre la relatividad con tres artículos en la revista *Ibérica* que trataron las pruebas experimentales y en los que criticaba a los escépticos de la relatividad que basaban sus argumentos precisamente en los ambiguos resultados de dichos experimentos. Este asunto se trata más adelante en el epígrafe “el debate asociado a los resultados experimentales”.

En resumen:

<sup>70</sup> *Ibidem*, p. 220-222.

<sup>71</sup> *Rev. R.Acad. Ciencias de Madrid*, Discursos de recepción, 18 de Mayo de 1924, p.7-43.

- Plans es el introductor del cálculo diferencial absoluto (que incluye el cálculo tensorial) en España, herramienta matemática imprescindible en la Teoría General de la relatividad.
- Aporta una visión matemática a la relatividad, profundizando en cálculos relacionados con aspectos indirectos de la teoría física.
- Polemizó en defensa de la relatividad, especialmente en lo relativo a los resultados experimentales, manteniéndose actualizado sobre las novedades al respecto
- Realiza algunas contribuciones originales en el tratamiento de algunos aspectos de la relatividad.
- Trata ejemplos de casos límite de la nueva física.
- Dirige tesis doctorales relacionadas, aunque fuera indirectamente, con la relatividad.



### 3.3. POSICIONAMIENTO DE LA CIENCIA ESPAÑOLA ANTE LA RELATIVIDAD

Previamente al análisis que nos ocupa se hace necesario señalar la dificultad en separar las disciplinas científicas de la Física y la Matemática en la España del primer tercio del siglo XX. El motivo es que muchos de nuestros protagonistas tenían una formación común en Física y Matemáticas. De hecho, por ejemplo la Universidad de Barcelona ofrecía la licenciatura en ciencias físico-matemáticas. Hay casos en que por su trayectoria profesional algunos científicos se enmarcan completamente en el campo de la física experimental, como Blas Cabrera, otros en la matemática teórica, como Puig Adam, pero en muchos casos esta distinción no es tan clara, como la de José María Plans, que trabajó en las dos disciplinas. Igualmente, astrónomos como Pedro Carrasco eran a su vez físicos. Aún así he decidido dividir el posicionamiento de la ciencia española especializada entre físicos, astrónomos y matemáticos por conveniencia metodológica, aun con el riesgo que supone una separación tan rotunda.

En líneas generales, en España la relatividad se aceptó sin exceso de debate por la comunidad científica especializada. El caso más patente de este hecho es la matemática española, donde no hubo ningún posicionamiento contrario a la relatividad. En la Física, su cabeza visible, Blas Cabrera, fue uno de los principales difusores de la relatividad. Esto influyó en mantener una postura mayoritaria prorrelativista entre los físicos españoles, aunque en algunos casos había posicionamientos ambivalentes, que admitían algunos principios de la relatividad pero otros no, especialmente el abandono de la hipótesis del éter. De todas formas, salvo en el caso del astrónomo Comas Sala, no hubo ningún físico español que escribiera artículos originales contrarios a la relatividad, sino que fueron posiciones reflejadas a través de reseñas de otros autores extranjeros que sí eran antirrelativistas.

De alguna manera, es lógica esta leve diversificación de opiniones entre los físicos por el peso determinante de los principios de la Física Clásica, aspecto que no incidía tanto entre los matemáticos. Hemos visto anteriormente cómo Cabrera evolucionó en su pensamiento; inicialmente interpretaba la relatividad de forma incompleta y tardó en abandonar la hipótesis del éter.

Entre los matemáticos tuvo un marcado carácter la respuesta como grupo unitario, formado por los miembros del *Laboratorio y seminario matemático* de la JAE. En las revistas de la *Sociedad Matemática* no se publicó ni un sólo artículo que cuestionara principios relativistas e incluso las reseñas que se hacían sobre libros contrarios a la relatividad eran para criticarlos, a diferencia de lo ocurrido en los *Anales de Física*. Otro aspecto significativo es que no tuvieron una fase de evolución en su aceptación de la relatividad, o si la tuvieron ni fue pública ni aparece en escrito alguno.

## 3.3.1. LA FÍSICA ESPAÑOLA ANTE LA RELATIVIDAD.

En el caso de la Física, dos hechos marcan la recepción de la relatividad: la posición del liderazgo de Blas Cabrera y la publicación de los *Anales de Física* como medio de expresión de la Física española. Lo más significativo de Cabrera es la evolución de su pensamiento hasta la aceptación completa de la relatividad. Una vez aceptada, a partir de 1914 con reservas y de forma determinante en 1921, destaca la enorme labor en su divulgación, con múltiples conferencias y artículos que culminarían en 1923 con *Principio de relatividad*, un libro completo y sistemático. Estos aspectos se han tratado con profundidad en el apartado dedicado exclusivamente a su labor en la difusión de la relatividad.

A través de los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química* se puede realizar un seguimiento de la actitud de los físicos españoles ante la relatividad.<sup>1</sup> Aparte de Cabrera, formaron parte del proceso de recepción y divulgación de la misma o entraron en debate contra la teoría, José María Plans y Freire<sup>2</sup>, Manuel Martínez-Risco, Miguel A. Catalán, Julio Palacios, Enrique De Rafael, Pedro Carrasco, Jerónimo Vecino, Mariano Doporto, Vicente Burgaleta, Navarro y José Estalella. En menor medida también es importante la aportación de los congresos de la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, en concreto las actas de la sección de ciencias físico-químicas. Se citarán también las contribuciones aparecidas en dichas actas y relativas a la nueva teoría de Einstein.

En los *Anales* tuvieron un papel muy importante las reseñas sobre libros o artículos de científicos europeos. Vimos que las "Notas alemanas de Física" encargadas por la dirección de los *Anales* a Mecklenburg fueron las primeras referencias aparecidas. Posteriormente, muchos físicos españoles realizaron reseñas que incluían temas sobre relatividad. Como muestra de la importancia de este tipo de publicaciones, el mismo Cabrera publicó varias entre 1912 y 1914, destacando una sobre la teoría de la gravitación de Abraham (en esos años en disputa con Einstein) y otra sobre un trabajo de Max Planck.

Junto con las de Cabrera, destacan tres reseñas de Miguel Catalán en 1918 y cinco de M. Doporto entre 1925 y 1926. Las de Catalán, químico de formación pero autoridad reconocida en espectrografía atómica, se centraron en pruebas experimentales sobre la relatividad, entre las que conviene señalar una muy interesante donde se describe con precisión los experimentos encaminados a medir el desplazamiento hacia el rojo de las rayas espectrales previsto por la teoría de Einstein.<sup>3</sup> Parece ser que éstas fueron las únicas contribuciones de Catalán, que destacó como físico experimental por su descubrimiento de los multipletes del espectro atómico, en la difusión de la relatividad. Otros científicos, como Martínez-

---

<sup>1</sup> Para un estudio completo bibliográfico de la Física española de la época, véase Manuel Varela, *La Física en España a través de los Anales de la Sociedad Española de Física y Química 1903-1965*. Universidad de Murcia, 2001, donde se constata que la principal aportación de los físicos españoles fue en magnetismo y espectrografía.

<sup>2</sup> A Plans se le puede considerar como físico y matemático. Por sus características, sus dos primeros artículos se pueden considerar en el ámbito de la física y el resto en el de la matemática.

<sup>3</sup> M. Catalán, "Reseña sobre Charles St. John en *Astrophysical Journal* de 1917, "El principio de relatividad y el desplazamiento de las líneas espectrales", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, 1918, t. 16, p. 19-23.

Risco, Vecino, Estalella o Navarro realizaron reseñas sobre escritos contrarios a la relatividad o que intentaban compatibilizar la teoría de Einstein con la hipótesis del éter. En definitiva, en las reseñas de *Anales de Física* sobre relatividad hay ejemplos de planteamientos teóricos favorables, del tratamiento de la base experimental, y de posiciones antirrelativistas o ambiguas.

Pero el mayor interés en la contribución de los *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* a la difusión de la relatividad, reside indudablemente en los artículos originales. Realmente en esta época de recepción e inmediatamente posterior, hasta 1936, fueron escasos. Blas Cabrera y Terradas publicaron en los *Anales* artículos como consecuencia de experimentos y estudios realizados por ellos, pero ninguno sobre relatividad. Sus artículos sobre la teoría de Einstein se publicaron en otros medios. Se han analizado en el apartado específico dedicado a Cabrera y Terradas. Vimos también cómo José María Plans publicó un solo artículo en *Anales*, sobre una forma original de obtener el cálculo de la curvatura de la luz, ya analizado anteriormente en el apartado dedicado a él.

Otros autores con artículos sobre relatividad en *Anales* fueron Pedro Carrasco en 1920, Enrique de Rafael en 1922, Langevin y Palacios en un artículo conjunto de 1934 y Emilio Herrera también en 1934. Estos dos últimos, por lo tardío de la fecha, tampoco se pueden considerar como determinantes en el proceso de recepción, además el de Herrera era una teoría alternativa sobre la que volveremos más adelante.

Pedro Carrasco (1883-1966), Doctor en Ciencias por la Universidad Central de Madrid, publicó en *Anales* (1920) un artículo de indudable interés histórico titulado "Estado presente de la teoría de la relatividad. El Eclipse de Sol del 29 de Mayo de 1919. Consecuencias de las ultimas observaciones".<sup>4</sup> Este es un trabajo fundamental porque comenta los resultados de la famosa expedición que consolidó la relatividad general y probablemente sea el único documento de la época escrito por un español en el que se analizan con profusión de datos dichas observaciones. Se detallan las características de las expediciones británicas de 1919 concretando datos técnicos de las mismas de tipo astronómico y se hace un análisis pormenorizado de los datos obtenidos. Previamente hace una reflexión sobre la idea ya antigua, basada en diversas hipótesis físicas, de que un rayo luminoso procedente de una estrella debía sufrir una desviación al pasar próximo a la superficie del sol, y que ahora había que considerar la solución relativista al problema como otra hipótesis más, que los datos podían ratificar, pero que partía con la ventaja de que determinaba cuantitativamente el valor de la desviación de los rayos. Del análisis de los datos, Carrasco establece que el resultado de las mediciones favorece la teoría de Einstein, aunque no de forma categórica ya que los valores medidos son aproximaciones a los teóricos.

Hace unas reflexiones interesantes con reservas por la opción relativista, dice "juzgando en crítica pura, sin predilección por una ni otra teoría, el astrónomo como experimentador consigna un hecho", para a continuación pasar a interpretar dicho hecho desde el punto de vista físico, indicando que bien podría deberse la desviación

---

<sup>4</sup> Carrasco, *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, tomo 18, 2ª parte, 1920, p. 67-93.

de los rayos a algún tipo de refracción atmosférica o de origen electromagnético, pero concluye que “el fenómeno debe tener una complejidad mayor que el ser un simple fenómeno de refracción o un sencillo efecto gravitatorio”. Cree que el resultado “lejos de resolver la cuestión de principio planteada, complicará más el asunto, abriendo nuevos horizontes en la investigación de la constitución solar y principalmente en nuestras ideas acerca de las ondas electromagnéticas y el éter como medio de transmisión e interplanetario”. Como vemos, vuelve a aparecer la resistencia a abandonar la teoría del éter. Por otro lado Carrasco establece que el balance actual de la teoría de Einstein basado en datos experimentales es positivo según el movimiento de Mercurio, probablemente positivo, según la desviación de los rayos luminosos y negativo según el corrimiento de las rayas espectrales. Recordemos que realmente este experimento no confirmó la relatividad hasta 1965 por su complejidad.

El trabajo del físico y matemático Enrique de Rafael en 1922, "Sobre la influencia del índice de refracción en el corrimiento de las rayas previsto en el experimento de Michelson",<sup>5</sup> tiene interés porque analiza en profundidad trabajos experimentales sobre relatividad. Resume las objeciones del físico italiano Righi y Stein, en 1919 y 1921 respectivamente, a la interpretación del experimento de Michelson y propone que para evitar las posibles interpretaciones erróneas, como él cree que son las de Righi, se podría repetir el experimento del interferómetro logrando unas franjas de interferencia al cambiar la presión del aire en la que está el interferómetro. Dichas franjas serían consecuencia de la variación del índice de refracción de la luz según el medio. Así se vería que, en la medición de dichos valores, los datos son exclusivamente como consecuencia de la variación del índice de refracción, sin aportación alguna según la antigua teoría del éter. De Rafael indica que los impugnadores de la interpretación relativista del experimento de Michelson parten de la hipótesis errónea de considerar la velocidad de la luz igual en el vacío que en el aire, lo que no es cierto por la mínima variación del índice de refracción. Pero esta mínima variación sí se podría detectar con su aportación a la modificación del experimento. No tenemos constancia de que dicha idea se haya llevado a cabo.

De Rafael hizo un tratamiento muy similar, pero con mayor grado de profundidad teórica, en una conferencia del congreso de Oporto de la *Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias* celebrado en 1921, titulada “La teoría del experimento de Michelson”. De Rafael destaca la importancia de “profundizar el conocimiento de la teoría del experimento de Michelson y, por tanto, de la base experimental de la teoría relativista”. Analiza en detalle las ideas de Righi, que consideraba erróneas las interpretaciones del experimento de Michelson favorables a la relatividad por ignorar un término en  $\rho^2$ , siendo  $\rho$  el efecto de la aberración de la luz. Según De Rafael, que sigue a los físicos franceses Langevin y Viley, incluso con ese factor se debería comprobar corrimiento en las franjas de interferencia, cosa que no ocurre. Lo más interesante de esta contribución de De Rafael es que analiza en detalle la polémica en 1919 y 1920 entre Augusto Righi y Viley sobre la interpretación de los resultados.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, t 20, 1922, p. 221.

<sup>6</sup> De Rafael, “La teoría del experimento de Michelson. (sesión del 30 de Junio de 1921)”, *Actas Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias*, congreso de Oporto, v 5, sec. C. Físicoquímicas, Madrid, 1922, p 87-108.

Ejemplo de la importancia de Enrique de Rafael como uno de los principales divulgadores científicos de la relatividad es el extenso trabajo aparecido en los *Anales de la Asociación de Ingenieros del ICAI*, basado en un ciclo de conferencias impartido durante el curso 1921-1922, que supone una completa exposición de la relatividad, entrando en detalle en numerosos aspectos de la misma.<sup>7</sup> Lo más novedoso respecto del tratamiento anterior en nuestro país es la referencia que hace a la constancia de la velocidad de la luz. Según De Rafael, si su naturaleza fuese emisora la luz debería de hacerse partícipe de la propagación del cuerpo que la emite. Pero esta idea ya se demostró que era incorrecta gracias a los experimentos de Roemer al observar las desigualdades de tiempo en las *inmergencias* y *emergencias* de los satélites de Jupiter en sus eclipses, constatando que esas desigualdades eran proporcionales a la distancia entre los satélites y la tierra y no se veían influenciadas por la velocidad relativa. Esto fue confirmado por De Sitter en 1914 con recopilación de multitud de observaciones espectrales y directas de estrellas dobles.<sup>8</sup>

Sobre la interpretación de las transformaciones de Lorentz como grupo, las siguientes palabras de De Rafael son clarificadoras:

Si queremos dar el grupo completo de las transformaciones de Lorentz, podemos seguir dos vías: la primera, indicada por Plans en sus excelentes *Nociones fundamentales de Mecánica Relativista*, consiste en adoptar el Universo Espacio-Tiempo imaginario, y aplicar las fórmulas de transformación de ejes rectangulares de la Geometría analítica de cuatro dimensiones; la segunda, debida a Weyl, es la generalización al espacio de cuatro dimensiones de la hipérbola equilátera y transformación correspondiente que acabamos de exponer. La noción de grupo aparece mucho más en la primera que en la segunda, y las fórmulas de paso son muy familiares a los que manejan las transformaciones de la Geometría analítica; en cambio, la interpretación real es más fácil e inmediata en la segunda, que de hecho ha prevalecido. En la primera se deja invariante la expresión  $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + d\tau^2$  y en la segunda,  $ds^2 = dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$ .<sup>(9)</sup>

Otro miembro del ICAI, Vicente Burgaleta (ingeniero y doctor en Ciencias) realizó en 1922 una brillante reflexión sobre los fundamentos de la dinámica. Basándose en las teorías de Cossenat, en las que toda la dinámica se puede fundar sobre la base de una elección de una función arbitraria que se adopta para caracterizar el movimiento, se pueden establecer los principios de conservación de la energía, de mínima acción y de Hamilton, con independencia de la función adoptada. Así, se puede demostrar, como hace Burgaleta, que tanto la mecánica clásica de Newton como la relativista son casos particulares de este formalismo general, con tal de asignar a la función formas particulares.<sup>10</sup>

<sup>7</sup> Enrique de Rafael, "Nociones de Mecánica clásica y relativista (conferencias semanales en el Instituto Católico de Artes e Industrias en el curso 1921-1922)", *Anales de la Asociación de ingenieros ICAI*, 1922, p 20-26, 124-130, 179-188, 319, 413-417, 538- 542; 1923, p 66-71, 157-164, 273-276.

<sup>8</sup> Enrique de Rafael, *Ibidem*, 1922, p. 181.

<sup>9</sup> Enrique de Rafael, *Ibidem*, 1922, p. 332.

<sup>10</sup> Vicente Burgaleta, "Fundamentos de la dinámica", *Anales ICAI*, 1922, p 392-398.

El físico francés Langevin, famoso por plantear la problemática de la paradoja de los gemelos en 1922 durante la visita de Einstein a Francia, impartió en el curso 1933-1934 una conferencia en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central sobre "Deducción de la mecánica a partir del principio de conservación de la energía y de la regla de composición de velocidades". Esta conferencia apareció como artículo en *los Anales*, con autoría conjunta de Julio Palacios, que transcribió la charla y añadió comentarios<sup>11</sup>. Este artículo es una descripción detallada de un método ideado por Langevin de deducir los teoremas fundamentales de la mecánica clásica y relativista partiendo del principio de conservación de la energía y de la regla de la composición de velocidades. Para el caso de la mecánica relativista adopta la regla de composición impuesta por la constancia de la velocidad de la luz. Se desarrollan las ecuaciones de la dinámica clásica, de la dinámica relativista, la variabilidad de la masa y la inercia de la energía (ecuación de Einstein), la dinámica del fotón y el principio de Doppler-Fizeau en su versión relativista. Volveremos sobre este trabajo al analizar la trayectoria de Palacios, que en esta época se posicionaba dentro de la ortodoxia relativista, como así puede interpretarse este trabajo.

En cuanto al trabajo de Emilio Herrera, "El universo y la hiperdinámica" (*Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, 1934), que era muy similar a otro trabajo realizado en 1916, sorprende su aparición en *Anales*, tanto porque su autor no era físico, sino ingeniero aeronáutico, como por su teoría un tanto heterodoxa. Por su carácter alternativo a la relatividad, postulando un universo hiperdimensional en rotación que influía en el éter con efectos similares a los de la gravitación einsteniana, se analiza en el apartado dedicado a los posicionamientos antirrelativistas. Sólo indicar ahora que parecía pertinente publicar su teoría en un año tan temprano como 1916, pero no tanto en 1934.

Hubo otros trabajos originales aparecidos en *Anales* (entendiendo por original, no que fueran contribuciones originales a la relatividad, sino que eran propios de sus autores, no reseñas), pero no estaban directamente relacionados con la relatividad, como uno de Victoriano Ascarza sobre los trabajos de la comisión española en el Eclipse de Sol de 1914; dos de José María Aldasoro en 1920 y 1921, sobre nuevos métodos para determinar la velocidad de la luz; uno de F. Ramón y Ferrando sobre el origen de la radiación en 1926; y por último, uno conjunto de Martínez-Risco y Zeeman sobre la comprobación experimental del principio Doppler-Fizeau para la luz, aparecido en 1930.<sup>12</sup>

De Manuel Martínez-Risco (1888-1954), catedrático de Física teórica y experimental en la Universidad de Madrid y exiliado en Francia al finalizar la Guerra Civil, es necesario señalar que en los años 50, ya en el exilio, hizo contribuciones originales en el ámbito de la óptica relativista, lo que detallo en el apartado 4.11. Pero indudablemente su formación como experto en interferometría se produjo en España. En este sentido, aunque en los años de recepción de la relatividad no aportó nada significativo en cuanto a la difusión de la misma, ejemplo de esta especialización suya,

<sup>11</sup> Langevin y Palacios, "Deducción de la mecánica a partir del principio de conservación de la energía y de la regla de composición de velocidades", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, 1934, v 32, p4-19.

<sup>12</sup> Aparecen las referencias exactas en la bibliografía.

que le capacitaba para realizar trabajos experimentales sobre óptica relativista, fueron sus trabajos sobre espectroscopia interferencial que desarrolló en 1915 en el *Laboratorio de Investigaciones Físicas* de Madrid. Tenemos conocimiento de estos trabajos por una conferencia suya, donde los expone, en el congreso de 1915 de la *Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias* en Valladolid. Trabajó sobre el patrón de Fabry-Perot y medidas de desplazamientos de rayas espectrales. Aunque estas medidas realizadas en Madrid no estaban encaminadas al estudio del corrimiento espectral de fuentes luminosas desde campos gravitatorios, una de las pruebas cruciales de la relatividad general, indudablemente la preparación teórica y técnica apuntaba en este sentido asociado con la relatividad, más cuando en España había un buen nivel en observación astronómica y en espectografía, unido a los conocimientos de Martínez-Risco en espectroscopia interferencial. Prueba del dominio teórico de Martínez-Risco es la parte que dedica en su conferencia al análisis de ventajas y desventajas del interferómetro de Michelson y del patrón de Fabry-Perot. Aunque por la literatura existente sobre Historia de la Física, pareciera que dichos interferómetros sólo valían para detectar el movimiento de la Tierra respecto al éter (y ante su fracaso ser uno de los orígenes de la relatividad), Martínez-Risco nos explica cómo son necesarios para la determinación de patrones de longitud de onda, longitudes de onda de elementos radiantes, aspectos cromáticos de la luz, comprobación experimental de los tripletes magnéticos de Zeeman y, en general, cualquier efecto físico que produzca corrimientos en rayas espectrales.<sup>13</sup> De todas formas en esta época Martínez-Risco estaba todavía lejos de abandonar la hipótesis del éter, como se comprueba en este mismo texto.

Por último cabe señalar la contribución, a nivel más bien divulgativo, de José Domingo y Quílez, profesor de física teórica de la Universidad de Granada en los años treinta. Pronunció un discurso sobre cuestiones cosmológicas con motivo de la inauguración del curso académico 1934-35 de la Universidad de Granada<sup>14</sup>. En general versó sobre la historia de las diferentes teorías cosmológicas en el marco de la física newtoniana, así como sobre hipótesis de origen y evolución del sistema solar. En cuestiones de estructura y evolución estelares defiende la necesidad de considerar la equivalencia masa-energía según la relatividad de Einstein. También refiere brevemente las primeras cosmologías relativistas, como la de De Sitter y la del propio Einstein. En cuanto a las interpretaciones de Friedman y Lemaître, basadas en las soluciones de las ecuaciones de campo einstenianas, concluye que la expansión del universo está implícita como predicción teórica de la relatividad general. También trata el origen del término cosmológico en las ecuaciones de campo, así como la nueva teoría cosmológica de Einstein de 1932 en la que descartaba el universo cerrado, admitiendo la expansión del mismo. Por último Domingo y Quílez hace una breve referencia a "la moderna mecánica ondulatoria relativista de Dirac que enlaza las teorías relativista y quantista". Este tema lo trató en profundidad en su artículo "Los

---

<sup>13</sup> Martínez-Risco, "La espectroscopia interferencial y sus métodos" Conferencia leída en la Universidad de Valladolid el 20 de Octubre de 1915, *Congreso de Valladolid de la Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias*, tomo II, sección ciencias físicoquímicas, Madrid, 1916, p. 203 a 231.

<sup>14</sup> Domingo y Quílez, *Estructura, expansión y evolución del Universo*, Granada, 1935.

últimos descubrimientos de la física" (*Boletín de la Universidad de Granada*, nº 28, 1934), donde repasa las últimas novedades de física de partículas, destacando el descubrimiento del positrón y su predicción teórica por Dirac al aplicar las correcciones relativistas a la mecánica cuántica.

### 3.3.2. LOS ASTRÓNOMOS ESPAÑOLES ANTE LA RELATIVIDAD

En realidad se pueden considerar a los astrónomos españoles como miembros de la comunidad científica especializada, ya que en cuanto a formación eran físicos o matemáticos, pero por su trayectoria profesional he creído más conveniente tratarlo en un epígrafe específico. Tres astrónomos publicaron sobre relatividad en España, Pedro Carrasco (1883-1966), José Comas Sola (1868-1937) y Luis Rodés (1881-1939). Pedro Carrasco, sucesor de Echegaray en la cátedra de Física-matemática de Madrid y astrónomo del Observatorio Astronómico de Madrid, intentó inicialmente compatibilizar la relatividad con la hipótesis del éter.<sup>15</sup> Luis Rodés, director del Observatorio del Ebro, también se mostró inicialmente ambiguo frente a la relatividad pero muy riguroso en sus análisis. José Comas, licenciado en ciencias físico-matemáticas por la Universidad de Barcelona y Director del Observatorio Fabra, planteó una teoría antirrelativista alternativa, pero sin impacto real en la comunidad científica, a pesar de sus notorios intentos de protagonismo.

Las principales aportaciones de la astronomía española sobre relatividad fueron dos:

- Las medidas realizadas en el Monte Wilson por Luis Rodés para comprobar el corrimiento de las rayas espectrales según la predicción de la relatividad general, que refleja e interpreta en una conferencia de 1923 aparecida en las *Memorias de la Real Academia de Ciencias de Barcelona* con el título "La espectroscopia, llave de la astronomía moderna".<sup>16</sup>
- La magnífica interpretación realizada por el astrónomo Pedro Carrasco sobre los resultados de las observaciones del eclipse de 1919, según el artículo de 1920 publicado en los *Anales* y ya comentado anteriormente.

Las aportaciones de los astrónomos españoles se pueden comprobar siguiendo las publicaciones de la *Sociedad Astronómica*, de boletines de observatorios astronómicos y las Actas de los congresos de la *Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias*, en su sección de Astronomía.

La astronomía española de la época disponía de un relativo buen nivel, con bastantes contribuciones en los congresos de la *Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias* sobre observaciones de eclipses y medidas espectrográficas astronómicas (aunque

<sup>15</sup> Para mayor profundidad consultar José M. Vaquero Martínez, *El éter en la Física española del primer tercio del Siglo XX: El caso de Pedro Carrasco Garrorena (1883-1966)*, Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura, Badajoz, 2001.

<sup>16</sup> Luis Rodés; "La espectroscopia, llave de la astronomía moderna", conferencia del 25-11-1922, *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, vol. 18, 1923, p. 3-22.



ninguna sobre aspectos relacionados con la relatividad), pero como colectivo no destacó por su difusión de la relatividad. Más bien al contrario, ya que su principal figura, Comas Solá, combatió vehementemente la relatividad. De hecho en la *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, predominaron artículos de Comas Solá. Aun así, entre los astrónomos españoles hubo reflexiones interesantes, como las de Luis Rodés o Pedro Carrasco en cuestiones teóricas sobre interferometría, aunque no en la revista citada.

Previamente hay que resaltar la posibilidad real de que se hubiera llevado a cabo una importante aportación experimental. Se planificó una expedición para observar el eclipse de 1923 con el objeto principal de comprobar la curvatura de la luz predicha por la relatividad general. Se realizaron las gestiones oportunas, pero la expedición resultó fallida por falta de asignación presupuestaria del gobierno, según información obtenida del *Anuario del Observatorio de Madrid para 1923*.<sup>17</sup> El personal del Observatorio de Madrid era consciente de la importancia de estos eclipses, y en concreto la gran expectación que se produjo ante los nuevos eclipses para confirmar las predicciones relativistas. Esta expectación estaba justificada porque

... si bien es cierto que, con ocasión del eclipse de 1919, se trató de resolver la cuestión, es forzoso reconocer que no quedó claramente dilucidada, dando lugar a opiniones y juicios contradictorios entre astrónomos y físicos.<sup>18</sup>

Además hay que notar la buena preparación técnica de los astrónomos españoles para poder organizar una expedición de este tipo, ya que en 1914 se realizó un viaje a Crimea para observar un eclipse, logrando extraer conclusiones sobre temas de astronomía solar con análisis de espectros de la cromosfera y de la corona solar. En esta expedición astrónomos españoles coincidieron con otros europeos, y se usó instrumentación avanzada para la época.<sup>19</sup>

Volviendo con nuestros protagonistas, Carrasco no era relativista convencido sino que se mantenía en una postura neutra aceptando algunos principios de la relatividad pero siendo reticente a admitir otros. Ya había realizado una conferencia en 1915 en el ateneo de Madrid, que tiene interés más por la fecha que por el contenido. Se denominó "Teoría de la relatividad", dentro de la serie de conferencias bajo el nombre "Estado actual, métodos y problemas de las ciencias".<sup>20</sup> Es una síntesis de las principales ideas de la relatividad pero mostrándose ambiguo respecto a sus consecuencias, y claramente contrario en otros aspectos como el límite a la velocidad de la luz. Respecto al éter no duda de su necesidad como sustento de la física.

El artículo sobre la interpretación de las medidas durante el eclipse de 1919, publicado en 1920 en los *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* y ya comentado, es de

<sup>17</sup> A. Vela, "Los eclipses de 21 de septiembre de 1922 y de 10 de Septiembre de 1923", *Anuario del Observatorio de Madrid para 1923*, 1922, p 290- 305.

<sup>18</sup> A. Vela, *Ibidem*, p 292.

<sup>19</sup> Victoriano F. Ascarza, "Noticia preliminar del eclipse de sol de 21 de Agosto de 1914 y de los trabajos y observaciones hechas por la comisión del observatorio de Madrid", *Anuario del Observatorio de Madrid para 1915*, 1914, p 439-469.

mucho rigor y aunque es prudente en la aceptación de la relatividad, explica que el astrónomo debe constatar los hechos dejando la interpretación de índole física para los especialistas. Vemos que aquí Carrasco habla como astrónomo, que es lo que él se consideraba. Es interesante destacar que Carrasco trabajó con Dyson, uno de los que analizaron, junto con Eddington las mediciones de las famosas expediciones inglesas.

En 1928 Carrasco publicó un libro, *Filosofía de la mecánica*<sup>21</sup>, en el que aceptaba muchos resultados de la relatividad pero seguía sin abandonar la hipótesis del éter. Aun así, junto con Luis Rodés, era el único astrónomo que era capaz de seguir la relatividad gracias a su desarrollo profesional en aspectos de física teórica y experimental. Ya en el exilio en México, publicaría en 1941 un libro en el que asume todos los principios de la “ciencia oficial”, incluyendo el abandono completo del éter<sup>22</sup>. Otros astrónomos, como Comas, aunque de formación similar, se dedicaron principalmente a la pura observación astronómica.

El único artículo conocido sobre relatividad de Luis Rodés, es significativo e interesante tanto por el enfoque dado como por la interpretación de las medidas realizadas por él mismo en el Mt Wilson<sup>23</sup>. Conviene señalar que Rodés era un experto en espectrografía astronómica. En 1919 publicó un interesante trabajo, a raíz de trabajos suyos del año anterior en el observatorio americano del Mt Wilson (¡fijémonos en la fecha!), en el que, aunque no se cita la relatividad, muestra su dominio sobre el tema y sus inquietudes en astrofísica que hacían presagiar su interés por la relatividad.<sup>24</sup>

En su discurso de la Academia de Barcelona de 1923, Rodés quiere mostrar las aplicaciones de la espectroscopia a la astronomía y astrofísica, como medidas de distancias, de velocidades de traslación y de rotación de los planetas, composición física y química del sol y otros astros, etc, proporcionando detalles para explicar las conclusiones obtenidas. Cita análisis espectrales obtenidos de uno de los “más pujantes telescopios del mundo” el de Mt. Wilson. Es importante la cita porque el propio Luis Rodés trabajó en él. Pero la importancia de este artículo en relación con el tema que nos ocupa se constata con el siguiente párrafo:

El espectroscopio ha recorrido en triunfal carrera todo el dominio del Universo material explorado; pero sin duda nadie se habría atrevido a vaticinar que a él se pediría el fallo sobre una de las más profundas

---

<sup>20</sup> Publicación del *Ateneo de Madrid*, 1915.

<sup>21</sup> Editorial Páez, Madrid, 1928. Aparece un extenso resumen de esta obra en Vaquero Martínez, *El éter en la física española del primer tercio del Siglo XX: el caso de Pedro Carrasco*, tesis doctoral, Universidad de Extremadura, 2001, p. 137-142. En el propio libro, sorprendentemente, no viene indicación alguna de fecha de publicación. Glick (1986) lo data en 1926 y Vaquero Martínez (2001) lo data en 1928.

<sup>22</sup> Carrasco, *La nueva física*, ediciones El Nacional, México, 1941. En Vaquero Martínez (tesis doctoral, 2001) se analiza también con profundidad este libro. Igualmente Vaquero realiza un interesante análisis de la evolución del pensamiento de Carrasco sobre la hipótesis del éter (p. 149-151).

<sup>23</sup> Rodés, *Memorias R. Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, 1923, vol. 18.

<sup>24</sup> Rodés, “El principio de Doppler-Fizeau en su relación con la ley de Kirchhoff”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 17, 1919, p. 471-487.

concepciones de orden metafísico que ha formulado el ingenio humano: la teoría de la relatividad.<sup>25</sup>

A continuación comenta la comprobación experimental de la relatividad por dar explicación a la desviación del perihelio de Mercurio y de la desviación de los rayos del sol, aunque señala que tal desviación se ha pretendido explicar por otras hipótesis, citando a Fournier. Pero el tercer tipo de comprobación experimental es la que está directamente relacionada con la espectroscopia, el teórico corrimiento al rojo de las rayas espectrales solares.<sup>26</sup> Rodés indica que este fallo todavía no se ha dado. El experimento es muy complejo, ya que hay varios factores que afectan a la posición de las rayas en el espectro; la variación del mismo con la temperatura, con el campo magnético, con el campo electrostático, el movimiento y con las diferencias de presión (por ejemplo las rayas aparecerán corridas según se ponga el espectrógrafo en la cima de un monte o en la base). Cita indicaciones para la realización del experimento por parte de St John Evershed pero indica que en la interpretación de los resultados siempre habrá incertidumbre por las variables indicadas. Hace referencia a un hecho comprobado que puede relacionarse con el efecto predicho por Einstein, indicando que él mismo ha participado en dicho experimento en el Mt Wilson. Creemos que este aspecto es muy interesante porque probablemente haya sido el único científico español que haya participado en pruebas experimentales sobre la relatividad.<sup>27</sup> Además, muestra que la astronomía española participaba directamente en la ciencia experimental internacional. Comenta Rodés que él mismo hizo cientos de medidas y llegó a los mismos resultados de Adams y otros investigadores sobre el problema de las rayas espectrales del borde solar, que aparecen desviadas respecto a las del centro. A continuación se transcribe textualmente por su interés:

¿Cuál es la causa de este desacorde? ¿influye el espesor de la atmósfera solar atravesada, en la posición de las rayas espectrales?. Entonces ya no hay ningún derecho para considerar en su posición normal las que proceden del centro y coinciden con las del arco. El hecho puede explicarse recurriendo al efecto Einstein; y digo *puede* explicarse, porque tampoco pretendo que sea la única explicación posible. Según la teoría relativista, las rayas producidas en condiciones iguales a las del laboratorio deberían aparecer desviadas hacia el rojo; pero si suponemos que los gases de la atmósfera solar, cual una llamarada que envuelve todo el globo, se levantan a razón de 364 metros por segundo, este movimiento desviará las rayas del centro hacia el violado, neutralizando exactamente la desviación hacia el rojo predicho por Einstein; pero en los bordes solares, como la componente radial es nula, el efecto Einstein no queda compensado y queda la desviación al rojo con relación al centro. Que los gases calientes del sol estén animados de este movimiento

<sup>25</sup> Rodés, *Memorias R. Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, 1923, vol. 18, p. 17.

<sup>26</sup> Considerando las vibraciones de los átomos como medidas temporales, la teoría afirma que la duración de las vibraciones en el campo gravitatorio solar es más lenta que la duración en el campo gravitatorio de la Tierra, por lo que si la duración de la vibración es más lenta, es decir el periodo de la frecuencia de radiación, la longitud de onda de dicha radiación es más larga por lo que el espectro correspondiente aparecerá desviado al color correspondiente a longitudes de onda más largas, es decir al rojo.

<sup>27</sup> También creo conveniente destacar la trascendencia de esta contribución de Rodés, ya que en los estudios conocidos sobre relatividad en España no se ha reflejado la aportación de este astrónomo español.

ascensional y caigan de nuevo a temperaturas más frías, parece lo pide la misma teoría y se verifica en escala mucho mayor en el caso de las protuberancias. De todas maneras, el hecho de que la diferencia hallada al comparar las rayas del centro con las del borde, sea del mismo orden y caso igual al efecto de Einstein, es una coincidencia muy significativa a favor de éste; nótese sin embargo, que este corrimiento gravitatorio de las líneas espectrales es una consecuencia inmediata de la hipótesis de la equivalencia y no supone los demás principios de la teoría, por ejemplo, las ecuaciones diferenciales del campo gravitatorio.<sup>28</sup>

Por último, Rodés se hace eco de la construcción de un nuevo observatorio en Alemania, que tiene por objeto esta comprobación, pero advierte que “es muy posible que la espectroscopia se mantenga en el terreno de los hechos y decline el fallo sobre esta profunda cuestión metafísica”.

Años antes Rodés ya realizó una contribución interesante, como vimos en el apartado 3.1 “Primeras referencias”, que supone un repaso histórico sobre la hipótesis del éter, sobre la que no parece tomar partido, en un extenso y documentado trabajo.<sup>29</sup>

En cuanto a José Comas i Sola, por su postura claramente antirrelativista, se trata en el apartado correspondiente sobre posicionamientos antirrelativistas, ya que, aunque era un conocido y prestigioso astrónomo, su propuesta se basaba en unos supuestos principios teóricos y no en conclusiones de sus observaciones o en su labor como astrónomo.

De la *Revista de la Sociedad Astronómica* es interesante la publicación en 1921 de un trabajo de Julius de Sitter, denominado “Teoría general de la relatividad y el espectro solar”. De Sitter era catedrático de astronomía teórica y fue uno de los primeros astrónomos en considerar la importancia de las consecuencias en problemas astronómicos de la relatividad especial. Escribió tres artículos en 1916 y 1917 en una revista inglesa de astronomía donde exponía detalladamente la relatividad general. Eddington, el principal difusor de la relatividad en Inglaterra, reconoció la importancia de estos artículos en la introducción de la relatividad en su país. La otra gran aportación de Sitter fueron sus trabajos sobre cosmología relativista, planteando un modelo cosmológico propio, diferente al de Einstein cuando añadió su constante cosmológica a las ecuaciones de campo para que el universo fuera estático. El modelo de Sitter se basaba en que el espacio-tiempo tenía una estructura propia independiente de la densidad de materia. Esto entraba en contradicción con el principio de Mach que tanto influyó en Einstein, que de hecho intentó rebatir esta nueva teoría. La contribución de Sitter implicó el primer modelo de universo en expansión, aunque de forma confusa todavía, ya que sus ecuaciones, que partían de las de Einstein, podían interpretarse también como modelo estacionario.

---

<sup>28</sup> Rodés, *Memorias R. Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, 1923, v 18, p 19. Este último párrafo es una cita del libro de Freundlich “Los fundamentos de la Teoría de la Gravitación de Einstein” (1921).

<sup>29</sup> Rodés, “De los cuerpos reales al éter hipotético”, *Razón y Fe*, v. 30, 1911 y v. 31, 1912.

### 3.3.3. LOS MATEMÁTICOS ESPAÑOLES, UNANIMIDAD Y COLABORACIÓN INTERNACIONAL.

Hemos visto anteriormente, al dar una visión general de la recepción de la relatividad en España, que la Sociedad Matemática fue el centro institucional de la consolidación del pensamiento relativista en nuestro país. La cabeza visible de la matemática española en esos años, Rey Pastor, aunque no se significó en la difusión de la relatividad en la fase de recepción, era consciente de la trascendencia del papel de la matemática en el desarrollo de la relatividad y dio su apoyo a fomentar la solidez de la matemática española en relación con la relatividad. No hay que olvidar que Rey Pastor estuvo un año en la universidad alemana de Gotinga, uno de los centros más prestigiosos de Europa, en la que la relatividad era un asunto prioritario de investigación. Salvo dos miembros históricos, Echegaray y Zoel García de Galdeano (que más que combatir la nueva teoría, se resistían a abandonar la construcción clásica en torno al éter), hubo unanimidad en la aceptación de la relatividad por los matemáticos españoles. Incluso en las reseñas que se publicaron sobre relatividad en las revistas de la Sociedad Matemática, cuando se comentaba algún libro o artículo contrario a la misma se criticaba esta postura. La aportación principal de Rey Pastor fue ser el responsable, en 1920, de la primera invitación oficial a Einstein para visitar nuestro país.

Aunque Rey Pastor no escribió en España sobre relatividad, la revista *Madrid Científico* se hizo eco en 1923 de una conferencia suya en Argentina, aparecida en la revista argentina *Estudios*. Es una exposición sintética de la nueva teoría, en la que elogia “el grandioso edificio levantado por Einstein” que básicamente consiste en generalizar el principio de relatividad de Galileo para todos los fenómenos físicos (no sólo los mecánicos) y para todos los tipos de movimientos (es decir para los no inerciales), aunque para ello haya que sacrificar la concepción clásica del tiempo absoluto<sup>30</sup>. El único aspecto que se separa en este texto de la “ortodoxia” relativista es el mantenimiento del éter para explicar la propagación de la luz:

... es bien sabido que la luz y la electricidad se explican en la física actual por los movimientos vibratorios de una materia imponderable e infinitamente sutil, que llena todos los intersticios de los cuerpos y los espacios interastrales; este medio infinitamente elástico es el éter, que transmite en forma de ondulaciones, la luz y la electricidad que en su seno se producen.<sup>31</sup>

Otro aspecto fundamental para la posterior asimilación de la relatividad por los matemáticos españoles fue la relación previa que tuvieron algunos de ellos con sus colegas italianos, que desarrollaron el cálculo diferencial absoluto. Vimos en el capítulo anterior, como Plans, Lorente de No y Puig Adam estuvieron en Italia, con becas de la JAE, conociendo de primera mano los avances en la materia por parte de Levi-Civita y Ricci.

Los principales matemáticos que participaron en el tratamiento de la relatividad son José María Plans, Esteban Terradas, Pedro Puig Adam, Lorente de No y Tomás

---

<sup>30</sup> “Relatividad. Rey Pastor en la Argentina”, *Madrid Científico*, 1923, v 30, p 49 a 51.

Rodríguez Bachiller. Ninguno de ellos publicó artículos originales sobre relatividad en las revistas de la *Sociedad Matemática*, sino algunas reseñas similares a las de *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, tanto de libros como de revistas especializadas. El más prolífico en este sentido fue José María Plans, que publicó hasta ocho reseñas sobre relatividad en la *Revista Matemática Hispanoamericana*. También Lorente de No firmó una reseña, precisamente sobre el famoso libro de Plans acerca del cálculo diferencial absoluto, destacando la importancia del mismo. Dice Lorente, con inequívoca intención crítica, que para entender a fondo la relatividad hay que conocer esta herramienta matemática y por lo tanto

... hoy, para penetrar en la teoría y no de un modo superficial, sino para llegar a su fondo y a las consecuencias accesibles, es imprescindible el cálculo absoluto, tanto que quien no lo conozca, quien no haya estudiado los libros que exponen la teoría sirviéndose de él no pasará de manejar unos cuantos términos tan oscuros para él como para el sinnúmero de pseudo-filósofos y pseudo-científicos que han... hasta reformado la teoría o la han negado porque sus conceptos no se hallaban en su vademécum del humano saber.<sup>32</sup>

Recordemos que las reseñas que se hacían sobre libros o artículos antirrelativistas eran críticas con sus autores.<sup>33</sup> Como ejemplo curioso de las reseñas que criticaban a los antirrelativistas, en una sobre un libro francés, en la que incluso se presupone un cierto aire de superioridad frente a las editoriales francesas, se dice dirigiéndose al autor antirrelativista

... le aconsejamos que medite más sobre ella (la relatividad), llegará a convencerse de que no existe contradicción entre sus principios fundamentales. Es de lamentar que una casa editorial, como la Gauthier-Villars de historial tan acreditado, acoja, para la publicidad, semejantes trabajos que sólo pueden producir confusión en quienes no tengan todavía muy arraigadas las ideas de la teoría de Einstein.<sup>34</sup>

Las contribuciones más importantes de los matemáticos españoles a la difusión de la relatividad fueron las siguientes:

- Las publicaciones de José María Plans, destacando sus libros *Nociones fundamentales de Mecánica relativista* (1921) y *Nociones fundamentales de Cálculo diferencial absoluto y sus aplicaciones* (1924), así como sus múltiples escritos en defensa de la relatividad, especialmente los relacionados con los resultados experimentales.

---

<sup>31</sup> *Ibidem*, p 50.

<sup>32</sup> *Revista matemática hispano-americana*, vol. VII, 1925, p. 206.

<sup>33</sup> Hay varios ejemplos: en el vol. 1923, dos reseñas sobre obras de divulgación francesas poco rigurosas, de Fournier y Carps; en 1927 reseña de T.R. Bachiller sobre "Essai sur l'hyperspace, le temps, la matiere et l'energie" de Maurice Boucher en la que critica la postura del autor contraria a la relatividad indicando que tiene una gran confusión entre los sentidos matemático, filosófico e intuitivo de los conceptos relativistas.

<sup>34</sup> Reseña de F.P. (desconocemos a quien corresponden las iniciales) sobre libro de Menges Charles "Nouvelles vines Faraday-Maxwelienes", *Revista matemática hispano-americana*, vol. VI, 1924.

- El trabajo de Puig Adam *Resolución de algunos problemas elementales en mecánica relativista restringida* (1922)<sup>35</sup>, que se ha considerado por los estudiosos como una de las escasas aportaciones de la ciencia española que supusieron novedad en relatividad. Por su trascendencia se trata específicamente en el apartado 3.5 "Contribuciones originales".
- La organización como grupo unitario de la visita de Einstein en Madrid, que incluyó conferencias y artículos asociados a ella. Por su especificidad este aspecto se trata en el apartado 3.4 "El viaje de Einstein. Conferencias y debates científicos".

Como se ha comentado anteriormente, aparte de Echegaray, cuyos escasos comentarios sobre la relatividad se han tratado en el apartado 3.1 "Primeras referencias", el otro matemático español reacto a la relatividad, aunque en ningún caso especialmente combativo, fue García de Galdeano (1846-1924). El caso de García de Galdeano es interesante porque era en la época uno de los matemáticos "históricos" españoles. Como anécdota curiosa, el primer artículo publicado en la revista de la sociedad matemática que incluía alguna información sobre relatividad fue suyo. De todas formas no era un trabajo específico sobre la nueva física, sino una serie de escritos, bajo el mismo título, a lo largo de varios números (entre 1915 y 1917) en los que trata la matematización de las leyes físicas.<sup>36</sup> Se observa que mantiene la idea del éter en frases como "la dependencia del índice de refracción ... de los rayos en el éter libre"<sup>37</sup> o bien "la intervención el éter ha permitido establecer la teoría electromagnética de la luz, (...), las deformaciones y perturbaciones del éter constituyen el manantial de fenómenos ópticos y eléctricos"<sup>38</sup>. En la parte publicada en 1917 cita el principio de relatividad, haciendo hincapié en que hay que considerar la no existencia del éter como una simple hipótesis de la relatividad a la que se refiere como "una nueva teoría eminentemente sintética que relaciona los fenómenos del universo". Comenta el famoso libro de M. Laue *Das RelativitätsPrinzip*, del que hiciera una extensa reseña Terradas. Se refiere a la importante aportación de Minkowski sobre la representación del espacio en cuatro dimensiones y su relación con "la reciente teoría del principio de relatividad, que aspira a constituir una grandiosa síntesis del universo". García de Galdeano fue el único matemático español que expresó alguna duda, pero no sobre la relatividad que la aceptaba como "buena correlación físico-matemática", sino por su resistencia a abandonar la teoría del éter.

Ejemplo de la buena organización de la *Sociedad Matemática*, en cuanto a la colaboración con científicos extranjeros, fue la publicación en la *Revista Matemática* de varios artículos de destacadas figuras, como Eddington, F. Severi y Levi-Civita e incluso del propio Einstein. Realmente eran traducciones de trabajos originales, es decir no eran encargos para publicarse expresamente en la revista. El caso más destacado por su importancia histórica es la publicación a lo largo de varios números, entre 1921 y 1922, del famoso libro de Einstein *Sobre la teoría de la relatividad*

---

<sup>35</sup> Este trabajo apareció a lo largo de 1922 en diferentes números de la *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid* y en 1923 como libro independiente editado por el Laboratorio y Seminario Matemático de la JAE.

<sup>36</sup> Zoel García de Galdeano, "Correlaciones matemático-físico-químicas", serie de artículos en la *Rev. Soc. Matemática Española*, 1915 a 1917.

<sup>37</sup> *Ibidem*, lección 5ª, tomo V, 1915-1916, p. 267 y 268.

<sup>38</sup> *Ibidem*, lección 7ª, 1916, tomo V, p. 293.

*especial y general*, originalmente de 1916 en primera edición y 1919 en su edición definitiva. La traducción la firmó Lorente de No y es la misma que la que aparece como libro independiente en 1921, editado por primera vez en España como traducción de la duodécima edición alemana.<sup>39</sup> Otra colaboración de Einstein aparecida en este medio fue "Geometría no euclídea y Física", publicada en 1926. Este es un interesante artículo en el que se realiza una síntesis histórica sobre el tema. Plantea las relaciones entre la Geometría y La Física y constata cómo se fue construyendo como "evidentes" un sistema de conceptos y axiomas, los de la geometría euclídea, de tal forma que para los físicos del S. XIX este sistema era inamovible por ser propio del buen sentido, es decir de la intuición interna.<sup>40</sup> Hace una síntesis histórica, señalando que esta situación se superó a lo largo de un siglo pero basándose en investigaciones matemáticas puras sin aplicaciones en la Física. Einstein hace un resumen preciso de la evolución e importancia de las geometrías no euclídeas. A raíz de que uno de los axiomas de Euclides, el de las rectas paralelas, no se podía demostrar, se planteó la posibilidad de que existieran otras geometrías "con igual derecho lógico de existencia", mérito que se debe a Lobachevski y Bolyai. De tal manera, se planteó la cuestión de si la Física debía tener como fundamento, precisamente, la geometría euclídea y no otra.

El trabajo de Levi-Civita, "Cómo podría un conservador llegar al umbral de la nueva mecánica"<sup>41</sup> (aparecido en 1920 en nuestro país y que se corresponde con una conferencia en la Universidad de Roma) tuvo mucho impacto en Italia<sup>42</sup> porque entraba de lleno en el debate sobre si la relatividad era una teoría revolucionaria o más bien una evolución de la física clásica. Parece que Levi Civita se orienta por esta segunda idea cuando afirma:

Me propongo demostrar, utilizando algunas sencillas fórmulas clásicas, cómo en virtud de un legítimo deseo de generalización, por una parte, y de una síntesis de conceptos por otra, resultan plausibles algunas modificaciones de leyes generales, cuantitativamente pequeñísimas, pero especulativamente grandiosas, que han sido sistematizadas por Einstein durante estos últimos años y que han proporcionado una explicación satisfactoria de muchos hechos experimentales.<sup>43</sup>

Para defender esta postura, Levi Civita se basa en el desarrollo de las ecuaciones de las mecánicas clásica y relativista en coordenadas generalizadas mediante el formalismo analítico de Lagrange y Hamilton. Indica que las ecuaciones de la mecánica clásica en coordenadas generalizadas cumplen las propiedades de invarianza y que formalmente son equivalentes a las relativistas, siendo éstas una generalización tetradimensional de aquellas. Para todo ello se apoya en los conceptos

---

<sup>39</sup> Einstein, *Sobre la teoría de la relatividad Especial y General*, Gráficas Toledo, Madrid, 1921; traducción de Lorente de No. Es el mismo que el de *Alianza Editorial*, reimpreso sucesivamente desde 1984 y traducido por Miguel Paredes Larrueca. En la *Revista Matemática* apareció a lo largo de varios números desde 1921 a 1922.

<sup>40</sup> Suponemos que no es un artículo escrito específicamente por Einstein para la revista, sino una traducción de un artículo publicado en otro medio habitual de Einstein. Actualmente, la obra *The Collected Papers of Albert Einstein* sólo tiene publicados los textos completos hasta el año 1921.

<sup>41</sup> *Revista Matemática Hispano Americana*, vol II, 1920, p. 107-176.

<sup>42</sup> Siguiendo a Reeves, "Einstein politicized: The Early Reception of Relativity in Italy.." en Glick, ed, *The comparative reception of Relativity*, 1987, p189-230.

<sup>43</sup> Levi-Civita, "Como podría un conservador...", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, 1920, vol II, p. 107.



de variedad analítica y de forma cuadrática. En la variedad analítica la variable  $t$  se puede tratar como una variable espacial más. Define un modelo de forma cuadrática  $ds^2 = \sum g_{ik} dx_i dx_k$  que incluye como casos particulares el de la mecánica relativista y clásica. Considera las transformaciones de Lorentz como un caso particular de las transformaciones analíticas que hacían invariantes las ecuaciones clásicas.

Levi Civita protagonizó uno de los ejemplos de colaboración internacional con la ciencia española, al impartir una serie de conferencias en su viaje a Barcelona en Enero de 1921 que se recogieron en una publicación de *L'Institut de Ciències del Institut d'Estudis Catalans* denominada "Questions de Mecànica clàssica y relativista" publicado en 1921 bajo la dirección de Esteban Terradas. Este libro reproduce cuatro conferencias de Levi-Civita, dos de mecánica clásica y de fluidos, una de cálculo diferencial absoluto y la última sobre relatividad denominada "L'òptica geomètrica y la relativitat general d'Einstein".<sup>44</sup> En este último hace notar la necesidad del cálculo diferencial absoluto elaborado por Ricci para el desarrollo de la teoría general de la relatividad. Repasa las generalidades de la óptica geométrica clásica, posteriormente la relación entre masa y energía según la teoría einsteniana y sus implicaciones, como la deflexión de la luz en un campo gravitatorio, realizando los cálculos para obtener la fórmula de la desviación.

Volviendo con los trabajos de científicos extranjeros aparecidos en la *Revista Matemática*, en 1923 se publicó un interesante artículo de Eddington (autor de uno de los libros más rigurosos sobre relatividad, *The mathematical Theory of relativity*), en el que plantea el problema, desde un punto de vista de validez metodológica, de la velocidad absoluta de rotación entre sistemas de referencia, que fue uno de los orígenes de la relatividad general (recordemos el planteamiento de Einstein sobre la aplicación del principio de relatividad al disco que gira), y que, en su opinión, no es un problema totalmente resuelto en las ecuaciones de campo de la gravitación einsteniana.<sup>45</sup>

De F. Severi se publicó en 1926 "Reducción de los principios de la relatividad a sus elementos lógicos y psicológicos"<sup>46</sup>. Es una nota presentada en la *Reale Accademia Nazionale dei Lincei* en Roma con la intención de contrarrestar las ideas de Bergson contrarias a la relatividad del tiempo basadas en aspectos lógicos y psicológicos. Es curiosa la frase de Severi "algún paso poco feliz del librito divulgador de Einstein ha dado pretexto explicable a tales críticas",<sup>47</sup> aunque Severi defiende plenamente a Einstein.

El caso anterior de publicación de científicos extranjeros destacados es un ejemplo de la implicación institucional de la *Sociedad Matemática* frente a la *Sociedad*

<sup>44</sup> Levi-Civita, "L'òptica geomètrica y la relativitat general d'Einstein", en *Questions de Mecànica clàssica y relativista*, 1921, *Institut D'Estudis Catalans*.

<sup>45</sup> Eddington, "Rotación Absoluta", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1923, p 177-186.

<sup>46</sup> *Revista Matemática Hispanoamericana*, tomo I, 2ª serie, 1926, p.108-115.

<sup>47</sup> *Ibidem*, p. 108. En mi opinión, algo de razón tiene Severi porque, aunque no se deduce del texto exactamente a que párrafos se refiere, coincido en que el libro de Einstein no es el más claro ni didáctico de los que he leído sobre relatividad., aunque es de lectura imprescindible por su indudable valor histórico.

*Española de Física y Química*, cuando parecía más apropiada la publicación de textos como los de Einstein o Eddington en los *Anales*.

En cuanto a otros matemáticos menos conocidos, vimos como José María Plans dirigió tesis doctorales a discípulos suyos que estaban relacionadas con el aparato matemático de la relatividad. Son los casos de Fernando Peña y María del Carmen Martínez Sancho.

El trabajo de Fernando Peña<sup>48</sup> es un ejemplo de que con la teoría de los campos unificados se estaba al día prácticamente en tiempo real, respecto de las novedades en la disciplina. Estamos en 1926 y se citan artículos de Einstein de 1923 y de 1925. Se trata uno de los problemas más importantes planteados por la relatividad, el de la geometrización del electromagnetismo, de la misma forma que la gravitación se puede considerar como una manifestación de la métrica del Universo. El primero en intentarlo fue Weyl mediante un método de interpretación de la geometría de Riemann que Einstein refutó en varios artículos pero que, según Peña, sigue sin haberse desarrollado convenientemente. Propone un nuevo desarrollo partiendo del concepto de traslación paralela infinitesimal (anteriormente expuesto en la *Revista Matemática hispanoamericana*) en el que desarrolla las ecuaciones del tensor métrico en las que se obtienen por un lado las ecuaciones de la relatividad general y por otro, en caso de aproximación para campos débiles, las ecuaciones de Maxwell. Realmente indica Peña que las ecuaciones obtenidas son las mismas que las de Einstein pero que este método es más riguroso.

Un año más tarde, María del Carmen Martínez Sancho publica “Contribución al estudio de los espacios normales de Bianchi”,<sup>49</sup> en realidad un resumen de su tesis doctoral, en el que se trata la interpretación física de los espacios de curvatura constante realizada por Levi-Civita. La autora tuvo que trabajar en profundidad con el libro de Levi-Civita de 1917, “Statica Einsteniana”. El artículo es interesante por la profundización matemática expuesta respecto a las contribuciones de Bianchi y Levi-Civita relacionadas con la relatividad general.

En 1932 Fernando Peña realizó una contribución en el congreso de Lisboa de la *Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias* (en organización conjunta con la equivalente lusa, la *Associação Portuguesa para o Progreso das Sciencias*) sobre la unificación de los campos gravitatorio y electromagnético. Se explican (citando los últimos trabajos de Einstein de 1931) los espacios con torsión, cuyos tensores denominados de torsión son una variante del tensor de curvatura usado en relatividad general, necesarios para el intento de unificación de la gravitación y el electromagnetismo.<sup>50</sup>

Los casos de Peña y Martínez Sancho ejemplifican el buen momento de la Matemática española. Especialmente ilustrativo el caso de la segunda al ser la primera

---

<sup>48</sup> Peña, Fernando “La geometrización del electromagnetismo” (Presentado por JM Plans en sesión de febrero 1926), *Rev. R. Academia Ciencias de Madrid*, 1926, p. 637 a 642.

<sup>49</sup> Martínez Sancho, María del Carmen, *Rev. R. Academia Ciencias de Madrid*, 1927, p. 588 a 603.

<sup>50</sup> Fernando Peña, “Sobre la unificación de los campos gravitatorio y electromagnético. Sesión del 17-5-1932”, *Congreso decimotercero de la Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias*, tomo II, sec. c. Matemáticas, Madrid, 1932, p. 11 a 20.

doctora española en Matemáticas, becada además en 1931 por la JAE para estudiar Geometría Multidimensional en Berlín.<sup>51</sup>

---

<sup>51</sup> Carmen Magallón Portolés, *Pioneras españolas en las ciencias. Las mujeres del Instituto Nacional de Física y Química*, CSIC, Madrid, 1998. De este interesante estudio se concluye que la práctica totalidad de las aportaciones de mujeres españolas en Física fueron en el campo de la espectrografía y rayos X.

### 3.4. EL VIAJE DE EINSTEIN. CONFERENCIAS Y DEBATES CIENTÍFICOS.

El viaje de Einstein a España en 1923 no fue novedad en cuanto a visitas de científicos importantes a nuestro país. Anteriormente ya se habían dado varios casos, el ya citado de Levi-Civita, y los de Sommerfeld y Hermann Weyl, que visitaron nuestro país en Marzo de 1922 para impartir cursos monográficos organizados por Esteban Terradas. Los trabajos de Weyl, profesor de la escuela politécnica de Zurich y una de las principales figuras en el intento de geometrizar el electromagnetismo y extender así la relatividad general, serían ampliamente citados por Plans. En definitiva, la visita de Einstein a nuestro país no fue algo excepcional, sino que hay que contemplarla como parte del proceso de modernización e internacionalización de la ciencia española.

Los preparativos del viaje de Einstein, así como las diferentes actividades y conferencias asociadas, vienen descritos con detalle en otros textos.<sup>1</sup> La visita de Einstein se planteó en 1920. Fue Julio Rey Pastor el que transmitió a Einstein la invitación conjunta del *Institut d'Estudis Catalans* y de la *Junta para Ampliación de Estudios*, para una serie de conferencias en Madrid y Barcelona. Posteriormente, también Terradas y Ramón y Cajal colaboraron mediante escritos al propio Einstein para negociar su visita. Por diversos motivos relacionados con el trabajo de Einstein, la visita se retrasó hasta 1923. Desde 1920 los científicos españoles pensaban en traducir y editar en España el libro de divulgación de Einstein (comunicándoselo al propio autor). Finalmente se publicó en 1921, con traducción de Lorente de No.

El viaje de Einstein a España (y la atención tanto pública, institucional como de la comunidad científica) fue similar a los de Estados Unidos, Japón y Francia. Einstein llegó a Barcelona el 23 de Febrero de 1923, a Madrid el 1 de Marzo y el 12 de Marzo a Zaragoza. En estas ciudades dio varias conferencias, unas más protocolarias, como el acto realizado en la Academia de Ciencias de Madrid con presencia del Rey, otras más académicas, como las impartidas en universidades, y otras más informales, en las que se dieron interesantes debates científicos, como la realizada con la Sociedad Matemática.

Este viaje tuvo una importancia enorme en cuanto a la dimensión social de la ciencia en España y fue un ejemplo de su proceso de institucionalización y modernización. El hecho de que favoreciera el debate científico, independientemente de que éste fuera más o menos riguroso, y se reflejara en la prensa era un síntoma positivo. Por un lado, la evolución de la ciencia española generó unas condiciones y expectativas que permitieron la visita de Einstein y por otro, dicha visita incidió en el prestigio de la comunidad científica española. En todos los casos, las conferencias se vieron reflejadas en la prensa con artículos de diferente índole. Algunos más o menos rigurosos, otros centrados en la personalidad de Einstein y otros, o bien frívolos, o bien de tipo humorístico (incluidos chistes gráficos), o con connotaciones políticas. En otros

---

<sup>1</sup> Glick, *Einstein y los españoles*, 1986, págs 62 y 63; Sánchez Ron y Romero de Pablos, ed. *Einstein en España*, 2005. Además, en Javier Carrión Berges, *Einstein. II El tiempo propio*, Ed. UnaLuna, Zaragoza, 2002, hay abundante selección de documentos originales aparecidos en diversos medios españoles en 1923, p 230-272.

casos aparecieron recogidas en revistas de divulgación científica por científicos especializados y en revistas especializadas. A éstos nos vamos a referir más adelante,

Tanto en Madrid como en Barcelona Einstein dio tres conferencias, la primera sobre relatividad especial, la segunda sobre relatividad general y la tercera sobre las investigaciones recientes acerca de la teoría. En una de las conferencias de Barcelona asistió José Comas Sala, director del observatorio Fabra y uno de los más importantes astrónomos españoles de la época, que era un convencido antirrelativista. No se le permitió de antemano intervenir, de lo que se quejó en un artículo publicado en la *Revista de la Sociedad Astronómica* en el que hablaba sobre dichas conferencias. Las conferencias de Madrid vienen detalladas en una crónica en *la Revista Matemática Hispanoamericana*<sup>2</sup>.

Un relato de primera mano de esta visita lo tenemos en las memorias de Emilio Herrera

Por entonces el profesor Einstein visitó España y, con esta ocasión, la Sociedad Matemática Española, de la que yo era vicepresidente, organizó una serie de sesiones para estudiar a fondo la teoría de la relatividad, y redactar un programa de los puntos que deseábamos ver esclarecidos, y que le expusimos al profesor Einstein en una sesión que le dedicamos. El profesor nos explicó claramente todos los conceptos que nos habían aparecido como dudosos, diciendo que aquella sesión era la que más le había agradado de todas las conferencias que iba dando por Europa.<sup>3</sup>

El 4 de Marzo Einstein impartió la primera conferencia en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Madrid, asistiendo científicos como Plans, Cabrera, Emilio Herrera, Pedro Carrasco, Lorente de No, Julio Palacios, Rodríguez Bachiller; los filósofos Ortega y Gasset y García Morente e incluso políticos como Antonio Maura y Joaquín Salvatella, ministro de Instrucción Pública.

También es interesante la relación de discursos en la sesión solemne del 4 de Marzo en la Academia de Ciencias de Madrid, presidida por el Rey Alfonso XIII. En el discurso del presidente de la academia, Rodríguez Carracido, situaba a la relatividad como un ejemplo del nivel superior de la ciencia en el que dominaba la teoría pura. El de Cabrera centraba el interés en la comprobación experimental y considerando que la relatividad estaba suficientemente asentada, trató otras contribuciones fundamentales de Einstein a la Física. En la contestación, Einstein destacó la importancia del nuevo campo abierto para unificar gravitación y electricidad, citando las contribuciones de Levi-Civita, Weyl y Eddington.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> "Crónica. La estancia del profesor Alberto Einstein en Madrid", *Revista Matemática Hispanoamericana*, tomo V, 1923, p. 187-195. No sabemos a ciencia cierta quién es el autor, ya que aparece en el índice bajo responsabilidad de la redacción de la revista, aunque es probable que haya sido el matemático Tomás Rodríguez Bachiller que estaba encargado en esos años de la edición de la *Revista Matemática*.

<sup>3</sup> Emilio Herrera, *Memorias*, (Manuscrito de 1967), ed. Thomas Glick y Sánchez Ron, ediciones Universidad Autónoma de Madrid, 1986, p. 95 y 96.

<sup>4</sup> "Discursos pronunciados en la sesión solemne que se dignó presidir S.M. el Rey el día 4 de Marzo de 1923, celebrada para hacer entrega del diploma de académico correspondiente al profesor Alberto Einstein", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1923.

Un acontecimiento muy importante fue la reunión especial de Einstein con miembros de la *Sociedad Matemática*, con carácter menos diplomático, donde se discutieron asuntos científicos. Esta sesión fue preparada por la *Sociedad Matemática* con anterioridad. Hay dos artículos que resumen lo tratado, uno de Manuel Lucini en *Madrid Científico* y otro de Enrique de Rafael, que se detallan más adelante. Este debate fue realmente innovador porque no se trataron los temas comunes relacionados con problemas conceptuales, sino aspectos de aplicación de la relatividad en problemas científicos que podían plantear confusión. Fijémonos que los planteamientos de debate eran de científicos relativistas, que no ponían en duda la teoría pero que veían algunos puntos que consideraban necesitaban aclaración. Hubo dos cuestiones de debate. Una fue una paradoja planteada por Burgaleta, que no es trivial. Se basaba en una solución de la ecuación de D'Alembert<sup>5</sup> que implicaba la posibilidad de superar la velocidad de la luz sin contradecir la relatividad. La otra aportación al debate fue de Plans y de Enrique de Rafael, planteando que en un sistema en rotación podría suponerse que no había velocidad límite. Einstein lo solucionaba con el concepto de rotaciones absolutas.

Aparte de las tres conferencias sobre relatividad especial, general y teoría de la unificación que fueron similares en Madrid y Barcelona, hubo una reunión con asociaciones de alumnos de ingeniería y dos conferencias en el *Ateneo de Madrid* y en la *Residencia de Estudiantes*. La del *Ateneo* fue sobre las consecuencias filosóficas de la relatividad, con un marcado carácter divulgativo. La de la *Residencia* la realizó Einstein en alemán, con traducción simultánea de Ortega, en la que justificó que no se consideraba un revolucionario científico. La relatividad realmente más que un cambio radical había solucionado un problema de incompatibilidad de hechos según la Física clásica. Este aspecto del carácter revolucionario de la teoría de Einstein tuvo por parte de su autor interpretaciones contradictorias.

En el caso de Zaragoza el protagonista por parte española fue el químico Rocasolano, que era el científico más prestigioso de la capital aragonesa e investigaba sobre el movimiento browniano, del que Einstein era una de las principales autoridades con contribuciones fundamentales a esta teoría. Einstein dio también dos conferencias sobre relatividad similares a las anteriores, aunque no hubo la participación significativa de físicos y matemáticos de Barcelona o Madrid.

Los detalles de las conferencias de Madrid a nivel científico aparecieron en varios medios en los que se trataron las conferencias de Einstein y algunos debates interesantes que tuvieron lugar. En la crónica ya citada de la *Revista Matemática Hispanoamericana* se resumían las tres conferencias dadas por Einstein en Madrid, la primera sobre relatividad especial, la segunda sobre relatividad general y la tercera sobre el estado actual, indicando las “imperfecciones y las tentativas hechas para evitarlas”. El propio Einstein comentó que las dos primeras conferencias iban a ser

---

<sup>5</sup> Se refiere a la notación del operador *nabla* para las ecuaciones de ondas del campo electromagnético,  $\nabla^2 \mathbf{E} - (1/c^2) \partial^2 \mathbf{E} / \partial t^2 = 0$ . El operador *nabla* es el gradiente, es decir  $\nabla = \Sigma \partial / \partial x_i$ . Aunque Einstein razonó en contra, la auténtica solución a esta paradoja vino tiempo después cuando se estableció que la velocidad de fase de un frente de ondas sí podía superar la velocidad de la luz pero la velocidad de grupo nunca, y en un frente de ondas que contenga información, ésta siempre viaja a velocidad de grupo.

muy sencillas y fáciles de seguir con conocimientos matemáticos elementales<sup>6</sup> y la tercera sí advierte Einstein que es más difícil de seguir. Lo más destacado es su referencia a la necesidad de añadir un término a sus ecuaciones de campo para mantener el carácter estático del Universo y del carácter incompleto de su teoría por no abarcar el campo electromagnético, cuya solución pasa por las modernas teorías de Weyl y Eddington que pasa a exponer.

En *Madrid Científico*, Manuel Lucini publicó un artículo<sup>7</sup> en el que refiere la reunión de los miembros de la *Sociedad Matemática* con Einstein (como anécdota curiosa, Lucini ya visitó a Einstein en Zurich, lo que recuerda con emoción en este artículo “la primera vez que aun casi ignorado el nombre de Einstein tuvimos el honor de estrechar su mano”). En esta reunión plantearon a Einstein dos dificultades: una, la posibilidad de que ondas luminosas pudieran propagarse con velocidad mayor que  $c$  y la otra el problema de la rotación. Lamentablemente Lucini no trata estos dos temas, simplemente los cita. Pero la importancia de este suceso es que, en Madrid, Einstein no se limitó a impartir conferencias, sino que participó en reuniones científicas de debate con sus colegas españoles.

Quienes sí trataron estos problemas planteados a Einstein fueron Enrique de Rafael, Pérez del Pulgar y Vicente Burgaleta, todos a través de los *Anales ICAI*. En 1923 Enrique de Rafael escribió un extenso artículo sobre la visita de Einstein.<sup>8</sup> Citó la primera conferencia destacando el hecho de que Einstein analizara la base experimental de la teoría. También insistió Einstein, y de Rafael lo destaca, en que “el relativismo científico o físico no tiene nada que ver con el relativismo filosófico”, ya que en la relatividad no se niegan cosas absolutas. Transcribo textualmente por su interés:

Hubo un acto menos público, pero sin duda de mucho provecho: la visita a la Sociedad Matemática, hecha con especial satisfacción por el Sr. Einstein, pues sabía que allí es donde se encuentran los verdaderos entusiastas de su teoría; porque algo, más o menos, según sus aficiones la pueden comprender y de hecho la comprenden. Tres socios, los tres profesores de este modesto Instituto Católico de Artes e Industrias, nos atrevimos, no a contender con el sabio profesor (esto es una ridiculez intolerable), sino a exponer sencillas dificultades para pedir aclaración. El Sr Plans le rogó le explicase qué se podía entender por rotación absoluta, sobre todo conforme a la idea expresada por Weyl en que define el compás del universo como conjunto de todas las direcciones normales en un punto a la línea de universo del mismo, y que relativamente a dicho compás, y según un transporte infinitesimal paralelo, es posible la definición de una rotación absoluta; el Sr Einstein dijo que, por de pronto, en su teoría, contraria a la de Sitter, en la que admite la finitud y curvatura del espacio, pero no la del tiempo (el universo, por lo tanto, por la presencia de materia, es curvo, pero no en todas direcciones, sino que en una de ellas, la del tiempo, es rectilíneo, y en conjunto resulta, por lo tanto cilíndrico) no hay inconveniente en hablar de una dirección

<sup>6</sup> De la lectura de esta reseña, entiendo que para la primera conferencia había que tener conocimientos de Física general y en la segunda conocimientos avanzados de matemáticas.

<sup>7</sup> M. Lucini, “El profesor Einstein”, *Madrid Científico*, nº 30, 1923, p. 65-66.

<sup>8</sup> Enrique de Rafael, “El profesor Alberto Einstein en Madrid”, *Anales ICAI*, 1923, p. 160-164.

absoluta, la del tiempo, y, por lo tanto, respecto de ella de rotaciones absolutas; como que las diferenciales de línea de universo lo son de tiempo propio, se ve la posibilidad de definir, respecto las direcciones normales a la misma, rotaciones que pueden llamarse absolutas.<sup>9</sup>

El propio De Rafael le preguntó cómo debe realizarse el planteamiento matemático del problema y Einstein contestó que en las teorías relativistas no se puede hacer porque no existe el concepto de sólido rígido, ya que “un sólido es un sistema respecto del cual sus puntos tienen líneas de universo rectilíneas, iguales y paralelas entre sí y al eje del tiempo propio; pero que al pasar a otros ejes o sistemas coordinados, no se puede a priori establecer las formulas de paso; los sólidos se convierten en cuerpos elásticos y su cinemática y dinámica es la de medios continuos y elásticos”.

Otro problema fue expuesto por Burgaleta, el de la posibilidad de superar la velocidad de la luz para algunas soluciones de la ecuación de ondas. Einstein contestó que no se puede considerar un sistema de señales en el que no haya intermisiones en la propagación.

Para finalizar, se hace eco de Rafael de un trabajo aparecido en la revista *Nature* sobre las medidas realizadas por Campbell, director del observatorio de Lick (Mount Hamilton) en EEUU, durante el eclipse de 21 de Septiembre de 1922. Los resultados confirmaban la desviación prevista por Einstein, dando un valor de  $1''74$ , cuando el teórico es de  $1''76$ . Al respecto destaca su felicitación por el “éxito de la teoría, que ya puede decirse estar plenamente incorporada a la ciencia clásica”.

Pérez del Pulgar y Vicente Burgaleta reflejaron brillantemente los problemas planteados directamente a Einstein en el artículo “Observaciones sobre la mecánica de Einstein Minkowski”, aparecido a lo largo de varios números en *Anales ICAI*.<sup>10</sup> El tema que le preguntó Burgaleta a Einstein en su visita, pero que no se llegó a tratar directamente en la reunión (ya que realmente no contestó), sí lo analizaron en este extenso artículo. Admiten que la mecánica relativista es “la verdadera, la única mecánica analítica que, lejos de estar en desacuerdo con la mecánica clásica, la incluye como uno de tantos sistemas posibles”, pero a continuación dicen que con algunos puntos de vista de la relatividad no están de acuerdo. Plantean con todo detalle y rigor el problema de la solución esférica de la ecuación de D'alambert concluyendo que

Cualquiera que sea la interpretación que se dé a estas velocidades, no deja de ser interesante observar que son superiores a las de la luz y que por tanto la imposibilidad que la teoría de la relatividad asigna a toda velocidad superior a la de la luz no puede extenderse a la propagación de la fase de las perturbaciones electromagnéticas.<sup>11</sup>

Insisten, para otros casos menos claros, con la idea de dismantelar el postulado de la invarianza de  $c$ , como por ejemplo en el supuesto de la dispersión de ondas. Son partidarios de la relatividad, pero no de ese postulado. De todos los planteamientos

<sup>9</sup> *Ibidem*, p. 161.

<sup>10</sup> Pérez del Pulgar y Burgaleta, *Anales ICAI*, 1923, p. 480-494 y 1924, p. 485-496.

<sup>11</sup> Pérez del Pulgar y Burgaleta, *Ibidem*



realizados en este sentido indicado, el más interesante es el de las soluciones de la ecuación de ondas.

En mi opinión, este debate planteado por Burgaleta es una de las aportaciones más originales e interesantes realizadas en España. El planteamiento de Burgaleta es correcto y la respuesta apropiada debe dirigirse sobre el problema de la distinción entre velocidad de grupo y velocidad de fase. Efectivamente, en un frente asociado a un grupo de ondas, la velocidad de fase resultante puede ser mayor que la de la luz, pero la velocidad de grupo siempre es menor. En dichos frentes de ondas, tanto la energía como la posible información que contengan (por procesos de modulación) siempre viajan a velocidad de grupo, por lo que no hay contradicción con la relatividad.

Pérez del Pulgar volvió unos años más tarde a plantear una teoría alternativa que invalidara la constancia de  $c$ . Más adelante veremos con detalle esta propuesta alternativa en el apartado dedicado a las propuestas alternativas.

Otro debate interesante reflejado en los medios españoles, aunque esta no vez no con Einstein, pero sí con motivo de su visita, fue el que mantuvieron Burgaleta y Eddington, tal como nos cuenta el propio Burgaleta en el escrito “Una paradoja relativista”.<sup>12</sup> En este artículo se muestran una serie de cartas cruzadas entre Eddington y Burgaleta acerca de la paradoja consistente en dos triángulos superpuestos parcialmente que se mueven entre sí con direcciones opuestas, en los que el punto de intersección  $x$  de los dos triángulos se movería con velocidad  $v_1+v_2$ , que implicaría puede ser mayor que  $c$ . A esto replica Eddington afirmando que el movimiento del punto  $x$  no corresponde a nada material. Según Burgaleta “es de lamentar que haya quedado en el aire esta definición de señal”, si por señal se entiende todo fenómeno que pueda servir de referencia, entonces el movimiento del punto  $x$  puede considerarse como una señal. El debate quedó abierto. En mi opinión el planteamiento de Burgaleta, aunque erróneo, no es trivial, por lo que la puesta en duda del límite de  $c$  fue inteligentemente planteada.

---

<sup>12</sup> *Madrid Científico*, nº 30, 1923, p. 66-68.

### 3.5. CONTRIBUCIONES ORIGINALES (PLANS, PUIG ADAM Y JOSÉ ISAAC CORRAL)

Antes de abordar este capítulo habría que aclarar qué se entiende por contribución original. Si consideramos como tales las aportaciones novedosas a principios teóricos o nuevos experimentos de corroboración, realmente en España no hubo ninguna. Pero si consideramos los tratamientos novedosos de casos particulares o enfoques innovadores sobre aspectos concretos, sí hubo alguna originalidad asociada a la relatividad en la ciencia española.

Los casos más interesantes de innovación teórica vendrían en los años cincuenta, principalmente de la mano de Manuel Martínez-Risco en su exilio francés y de Lluís Bel, también en Francia como becado para realizar estudios de doctorado. Los veremos en el capítulo cuarto.

Las principales contribuciones originales por parte española en los años de recepción en cuanto a tratamientos novedosos en la relatividad de Einstein son dos: la de Plans por su artículo "Nota sobre la forma de los rayos luminosos en el campo de un centro gravitatorio según la teoría de Einstein" y la de Puig Adam por su tesis doctoral *Resolución de algunos problemas elementales en mecánica relativista restringida*, dirigida por Plans.

Otra contribución original interesante es la de José Isaac Corral, aunque no tanto sobre la teoría de Einstein como por la posibilidad teórica de construir otras mecánicas relativistas.

En menor grado también hay aspectos de originalidad en la obra de Plans *Conceptos fundamentales de mecánica relativista*, debido a algunos planteamientos realizados. Del libro de Plans, ya analizado anteriormente, se podría destacar como tratamiento innovador el análisis del movimiento de un punto material en el Universo de Minkowski y la aplicación de la mecánica analítica, basada en coordenadas generalizadas, a las ecuaciones relativistas.

Los trabajos de tesis de Fernando Peña y María del Carmen Martínez, ya comentados, también pueden considerarse novedosos por las herramientas matemáticas usadas en relatividad general, pero es más en el terreno puramente metodológico de las matemáticas, que como aportación teórica en Física.

También podríamos considerar, aunque con las lógicas reservas, a Blas Cabrera como autor, en su obra *Principio de relatividad*, de unos planteamientos pedagógicos muy innovadores para la época, intentando siempre explicar el sentido físico de las ecuaciones y planteando ejemplos con los que pudieran comprenderse las implicaciones de la relatividad. Obviamente esto no es una novedad o contribución original desde el punto de vista científico, pero sí creo que se puede considerar la obra de Cabrera como una aportación interesante a la literatura relativista.

### 3.5.1. LAS CONTRIBUCIONES ORIGINALES DE JOSÉ MARÍA PLANS

Hemos visto que el trabajo de José María Plans, "Nota sobre la forma de los rayos luminosos en el campo de un centro gravitatorio según la teoría de Einstein" (*Anales de Física*, 1920), planteaba una novedad en cuanto al método de cálculo de la desviación de los rayos luminosos. Realmente, más que una aportación original en cuanto a principios teóricos, métodos experimentales o resultados (que da los mismos que Einstein), se trata de un nuevo método de cálculo, el cual es a la vez simple y elegante, confirmando la prioridad que daba Plans a los argumentos matemáticos.

En cuanto a la posible originalidad de su libro *Nociones fundamentales de Mecánica Relativista* (1921), ésta se debe al tratamiento de aspectos no usuales en los libros, como son los desarrollos matemáticos exhaustivos de aplicaciones mecánicas, relacionadas indirectamente con los postulados básicos, aplicaciones que no hemos encontrado incluso en libros recientes. Probablemente tienen un interés más matemático que físico, pero implica un desarrollo matemático completo de la relatividad especial, lo que no era normal hacerlo, ya que se profundizaba el tratamiento matemático en la relatividad general y no en la restringida. Veamos varios ejemplos:

- Formulación de las ecuaciones de transformación completas de Lorentz, es decir considerando que varían los tres ejes espaciales.
- La aplicación del cálculo tensorial para facilitar las operaciones con el caso completo de considerar las tres componentes espaciales variables (recordemos que el caso general es considerar que el movimiento sólo se produce en una dirección y esto simplifica mucho la expresión formal asociada),
- Aplicación de la geometría no-euclídea de Lobachevski y Bolyai a los cálculos en relatividad especial (no la general)
- Detalle de las ecuaciones de Minkowski para el movimiento de un punto en el Universo de Minkowski.
- Modificación de las ecuaciones de Lagrange en mecánica relativista, así como la nueva formulación, relativista, canónica de Hamilton
- Planteamiento de las nuevas ecuaciones diferenciales asociados a problemas clásicos pero con la corrección relativista.

Es interesante observar que Plans fue, probablemente, el único que en España trató con profundidad la contribución de Minkowski a la interpretación geométrica de la relatividad especial, que influyó determinantemente en la génesis de la Teoría General de la Relatividad. Esta influencia no la comenta explícitamente Plans, sino que se limita a exponer el contenido con todo el rigor matemático, pero sin ninguna consideración de tipo histórico, es decir, como libro de texto es exclusivamente expositivo.

### 3.5.2. PUIG ADAM Y EL ESTUDIO DE CASOS CONCRETOS EN RELATIVIDAD RESTRINGIDA

Mayor grado de originalidad en cuanto a aportaciones novedosas se puede encontrar en la obra del matemático Puig Adam, *Resolución de algunos problemas elementales en mecánica relativista restringida*, publicada en 1923 bajo el auspicio de la *Junta para Ampliación de Estudios*<sup>1</sup>. Este texto fue previamente publicado en 1922 en la *Revista de la Real Academia de Ciencias de Madrid*. Se corresponde con una tesis doctoral dirigida por José María Plans y presentada en Mayo de 1921. Es realmente un trabajo de matemáticas y forma parte de la contribución matemática de Puig Adam al tipo de trabajos asociados con modelizaciones matemáticas de problemas físicos.

Sobre el aspecto de contribución original, aunque realmente lo es en España, y es probable que también algún contenido lo sea internacionalmente (no podemos afirmar esto categóricamente), no es una contribución ni de carácter teórico sobre principios físicos, ni evidentemente experimental, sino de desarrollo matemático sobre aplicaciones en supuestos concretos de la mecánica considerando las correcciones relativistas. Por lo tanto, parece lógico que no trascendiera en la comunidad científica internacional. Aún así, es la de mayor trascendencia en España.

Nos cuenta Puig Adam cómo el profesor Jüttner en 1914 estudió algunos problemas clásicos de la mecánica en el marco de la relatividad restringida, pero que después de la formulación de la teoría general,

... casi toda la atención de los cultivadores de esta ciencia quedó enfocada, desde entonces, a la relatividad general, de una trascendencia evidentemente superior a la de la restringida. Perdió, pues, ésta en actualidad después de haber quedado reducida, con la aparición de aquella, a su primera aproximación; pero no perdió en interés,[..], basta tener en cuenta las dificultades de cálculo que entraña, en el momento actual, el estudio de cualquier cuestión en esta última para comprender que sea útil en multitud de problemas empezar abordando la resolución dentro de esta primera aproximación.<sup>2</sup>

Con las propias palabras del autor se ratifica lo indicado anteriormente, que el tratamiento matemático de la relatividad especial había perdido interés en la comunidad científica, y es aquí donde reside la importancia de la aportación de Puig Adam. Nos cuenta que no se han conocido trabajos posteriores a los de Jüttner, por lo que se justifica el objetivo de su obra: estudiar la solución de problemas concretos de la Mecánica Clásica, pero con las correcciones marcadas por la relatividad especial. Los tipos de movimiento que se van a analizar son los siguientes:

1. Estudio del movimiento rectilíneo de una partícula bajo condiciones particulares.
2. Aplicación del movimiento de un punto sobre una circunferencia.

---

<sup>1</sup> Publicaciones del *Laboratorio Matemático*, Madrid, 1923.

<sup>2</sup> Puig Adam, *Resolución de algunos problemas...*, JAE, Madrid, 1923, p. 1 y 2.

3. Curva braquistocrona.

4. Movimiento de un punto sobre una superficie esférica.

En todos los casos se consideran los movimientos bajo la acción de un campo de fuerzas constante.

*1.- Problemas de movimiento rectilíneo de un punto.*

Parte Puig Adam de las ecuaciones de Planck de la mecánica relativista, cuya deducción se explica en el famoso libro de Plans de 1921. Éstas son para cada componente de la fuerza  $x, y, z$  del tipo

$$F_x = \frac{d(mx' / \sqrt{1 - v^2/c^2})}{dt} \quad \text{donde} \quad x' = \frac{dx}{dt}.$$

Integrando estas ecuaciones según las condiciones impuestas por los casos particulares de fuerza función de la posición, fuerza función de la velocidad, fuerza constante en la dirección del movimiento con resistencia del medio función de la velocidad y fuerza función del tiempo, llega a las correspondientes ecuaciones del movimiento para cada uno de los supuestos anteriormente indicados. Para la obtención de dichas ecuaciones de movimiento realiza cálculos detallados, explicando todos los pasos, siendo aun así complejos. En todos los resultados aplica la condición de caso límite  $v \ll c$  y llega a las mismas ecuaciones de la mecánica clásica. El más complejo es la obtención de las ecuaciones de movimiento con resistencia del medio en función de la velocidad, considerando movimientos en sentido contrario a la acción de la gravedad, en el mismo sentido y también con diferentes supuestos de velocidades iniciales. Realmente es el estudio de un caso particular completo y probablemente fuera la primera vez que se publicara algo así en Europa.

El motivo de esta opinión es que Plans estaba completamente al día de lo que se publicaba al respecto y cuando dirigió la tesis a Puig Adam sabía de la ausencia de estos estudios. Los otros casos anteriores de fuerza dependiente de la posición y velocidad sí es más probable que se hubieran publicado.

*2. Movimiento general de un punto sobre una línea cualquiera, caso de una curva.*

Plantea las ecuaciones de una curva deformable expresadas en forma paramétrica para aplicar el formalismo de la mecánica analítica de Lagrange a coordenadas generalizadas. Obtiene la ecuación de movimiento en dichas coordenadas generalizadas que demuestra se reducen a las de Lagrange para el límite clásico. Considera el supuesto del movimiento en un campo cualquiera llegando a soluciones elípticas, como en la física newtoniana, aunque más complejas.

*3. La Curva braquistócrona en mecánica relativista restringida.*

La curva braquistócrona era un problema clásico de la física. Consistía en hallar la forma de la línea más corta correspondiente al movimiento de una partícula entre dos puntos situados en diferente vertical respecto al suelo y a diferente altura bajo la acción del campo gravitatorio. Esta solución la halló Newton después de estar sin resolverse en mucho tiempo y correspondía a una curva conocida con ese nombre.

Plans aplica el mismo supuesto pero considerando la mecánica relativista en vez de la clásica y obteniendo las ecuaciones de dicha curva, que también contienen las de Newton en la aproximación de  $v \ll c$ .

#### 4. *Movimiento general de un punto en una superficie.*

Se basa también en la formulación analítica basada en coordenadas generalizadas obteniendo las ecuaciones del movimiento para los casos del movimiento de un punto en una superficie indeformable, sobre un plano en un campo cualquiera y sobre una superficie esférica en un campo constante.

Como conclusión se establece que en las ecuaciones del movimiento de estos casos particulares en mecánica relativista especial no aumenta la dificultad analítica de los problemas, que conceptualmente son iguales a los de la mecánica clásica, pero sí la complejidad de los cálculos y fórmulas obtenidas, complejidad que viene impuesta por el factor  $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ . También en todos los casos en las soluciones aplicando el caso límite de  $v \ll c$  se llega a las mismas que las de la mecánica clásica.

#### 3.5.3. ORIGINALIDAD EN CABRERA SOBRE ASPECTOS PEDAGÓGICOS.

En cuanto a las aportaciones novedosas de Cabrera, se ha indicado que éstas se limitan a aspectos pedagógicos. Efectivamente, su obra *Principio de relatividad* tiene dos partes muy didácticas en su tratamiento que pueden servir perfectamente de ejemplo pedagógico para explicar la relatividad. Una es con el objetivo de hacer comprensible el universo curvo de cuatro dimensiones y la otra la explicación de los términos de las ecuaciones de campo.

Para comprender el universo curvo de cuatro dimensiones, Cabrera describe el siguiente supuesto. Consideremos un ser inteligente, que domina la geometría y el cálculo, con un sistema cognitivo y sensorial válido para detectar sólo dos dimensiones; es decir sus movimientos son en las direcciones izquierda-derecha y adelante-atrás, pero no puede moverse ni percibir movimiento en la dirección arriba-abajo. A este ser Cabrera le llama homoide. Si el homoide se mueve en una esfera muy grande en relación a su tamaño, él en principio solo detecta que se mueve en dos dimensiones y que la geometría aplicable es la euclídea. En cambio, sí puede realizar mediciones sobre otros movimientos que abarquen dimensiones no despreciables frente a la curvatura del plano en el que se mueve, curvatura que él en principio no detecta. Con estas mediciones comprobará que no son aplicables los principios geométricos válidos para su margen inicial de movimientos. (Por ejemplo, los ángulos de un triángulo medirán más de 180 grados y dos rectas paralelas tenderán a converger). Además, aplicando el cálculo sobre las mediciones, podría deducir que en realidad su mundo de dos dimensiones, en principio plano, es de tres dimensiones y se curva según una tercera dimensión que no concibe por su sistema sensorial. Trasladando este caso a nuestro mundo perceptivo de tres dimensiones, pero real de cuatro con la componente temporal, se puede "visualizar" la curvatura de nuestro Universo. Para todo este razonamiento se apoya Cabrera en diagramas y dibujos que clarifican lo expuesto. (Todo este proceso se puede entender imaginando un plano mallado que luego curvamos y el homoide se mueve a través del plano mallado

curvado). Este ejercicio "metafórico" aparece en diversos textos sobre relatividad, pero en España no antes del año de publicación de este libro, 1923.

En cuanto a las ecuaciones de campo  $G_{ik} - 1/2 g_{ik}G = -K T_{ik}$ , Cabrera nos explica que el tensor T representa diez magnitudes, seis componentes correspondientes a las presiones y tensiones que pudiéramos llamar elásticas y se ejercen en el seno de la materia, tres componentes de las cantidades de movimiento asociadas a cada coordenada espacial (es decir el producto de las velocidades locales según cada eje por la densidad de materia) y la décima magnitud la densidad de energía ó también de masa. El tensor G también representa diez magnitudes que caracterizan la curvatura del Universo. De esta forma se obtienen diez ecuaciones, de las cuales cuatro se corresponden con los teoremas de conservación de energía y de cantidad de movimiento. En ausencia de movimiento en el seno de la materia las ecuaciones de campo se reducen a la ecuación de Laplace de la física clásica derivada de la ley de atracción universal de Newton, es decir  $\Delta V = -kp$ , donde V es el potencial gravitatorio y p la densidad de materia en reposo<sup>3</sup>, ya que las nueve primeras componentes de T se anulan y queda  $T_{44}=p$ .

### 3.5.4. JOSÉ ISAAC CORRAL Y LA "RELATIVIDAD ELÍPTICA"

Una de las más originales aportaciones españolas sobre posibles alternativas a la relatividad de Einstein fue la de José Isaac Corral (1882-1942) en 1929. Aunque nacido en Cuba, era hijo de españoles y realizó los estudios de ingeniería y ciencias exactas en España. Ejerció su carrera profesional como ingeniero de minas y montes en Cuba, pero mantuvo contactos en España, especialmente para temas científicos sobre física y matemática, siendo académico corresponsal de la Academia de Ciencias de Madrid. Publicó en España tres tratados sobre ecuaciones numéricas (desde 1912 a 1926) y el que nos interesa, *Mecánica no-newtoniana de tipo elíptico* (Memoria de la Real Academia de Ciencias, Madrid, 1929)

Es una obra muy interesante, porque plantea la posibilidad de construir mecánicas alternativas a la relativista de Einstein sobre la base de sistemas geométricos diferentes. Vemos que es una idea similar a la de Pérez del Pulgar propuesta en 1907, pero, a diferencia de éste, la de Corral es una teoría basada en el principio de relatividad. No es una obra, ni mucho menos antirrelativista, de hecho veremos como defiende la aplicación de la teoría de Einstein, sino que desde un punto de vista instrumentalista, plantea la posibilidad de construir otra mecánica relativista sin considerar su validez en cuanto a concordancia o no con el experimento. Publicó un libro de similar contenido en Cuba denominado *Relatividad elíptica* (La Habana, 1929).

Se basa Corral en las ideas de Louis Rougier, según el cual, partiendo de la filosofía geométrica de Poincaré, las tres métricas posibles, de Euclides, de Lobachevski-Bolyai y de Riemann, son teóricamente utilizables en las ciencias físicas para construir una

---

<sup>3</sup> Recordemos que el operador laplaciano  $\Delta$  es la derivada parcial de segundo orden por componentes, es decir  $\partial^2 V / \partial x^2 + \partial^2 V / \partial y^2 + \partial^2 V / \partial z^2$ .

cinemática, una dinámica o una astronomía que pueden ser equivalentes salvo en el lenguaje matemático usado. Igualmente la matemática es indiferente de si las entidades de las que trata existen o no.

De esta forma, para Corral, con cada sistema geométrico construido puede corresponder una mecánica diferente, que puede ser perfectamente coherente y lógica, con resultados que pueden traducirse en las otras mecánicas, así que desde un punto de vista puramente teórico todas las mecánicas pueden ser posibles. Hace uso de diferentes autores, entre ellos Plans, de quien da referencias múltiples a lo largo de la obra, para justificar su intención:

Vemos así que flota en la atmósfera científica la posibilidad de que se creen nuevas Mecánicas, distintas de la relativista de Einstein, que correspondan íntimamente y en conexión indestructible con otros sistemas geométricos distintos al de Lobatchefski-Bolyai<sup>4</sup>, pues entonces no habremos más que *mecanizar* la Geometría que se considere, sin preocuparnos de que ese nuevo conjunto de principios mecánicos sea comprobado por la realidad de la naturaleza, ya que es un producto de la lógica y su existencia científica resulta tan legítima y exacta como la propia Mecánica relativista restringida de Einstein.<sup>5</sup>

En definitiva, su intención es establecer los principios generales de una nueva mecánica diferente a la de Einstein, pero relativista también, sin plantearse la validez de su teoría en cuanto a confirmación experimental con la naturaleza.

La mecánica basada en la relatividad restringida corresponde al sistema geométrico de Lovachevski-Bolyai de tipo hiperbólico y el objetivo de Corral es crear una mecánica que corresponda al sistema geométrico de Riemann de tipo elíptico<sup>6</sup>, aunque insiste en aclarar “sin pretensión objetiva alguna”. Plantea unas nuevas ecuaciones de transformación que consigue partiendo de la invariancia de las expresiones siguientes:

$$x^2 + y^2 + z^2 + c^2 t^2$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$$

en vez de la invariancia usada en la mecánica de Einstein de las expresiones

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$$

<sup>4</sup> (sic) se refiere evidentemente a Lobachevsky, pero en esos años se usaban diferentes expresiones.

<sup>5</sup> José Isaac Corral, *Mecánica no-newtoniana de tipo elíptico*, Memoria R. Acad. Ciencias Madrid, 1929, p. 2.

<sup>6</sup> La geometría hiperbólica es de curvatura negativa, de tal forma que en un cuerpo con este tipo de geometría (por ejemplo el caso de una “silla de montar”) la sección con un plano secante forma una hipérbola. La geometría elíptica es de curvatura positiva, por ejemplo un elipsioide, y en un cuerpo dado la sección equivalente formaría una elipse.



De esta forma las transformaciones que cumplen con la nueva condición de invariancia son

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 + v^2/c^2}}; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \frac{t + (v/c^2)x}{\sqrt{1 + v^2/c^2}}$$

que como se ve son similares a las de Lorentz, sólo que el factor  $v^2/c^2$  en vez de restado está sumado.

En las transformaciones de Lorentz, para una velocidad  $v$  menor que la de la luz, una esfera real permanece invariable y una esfera imaginaria se transforma en un elipsoide imaginario de revolución a lo largo del eje de las  $x$ . Para velocidades  $v$  mayores que las de la luz, una esfera imaginaria se transformaría en un hiperboloide real de una hoja (lo que Corral demuestra matemáticamente). Fijémonos en que Corral plantea que  $v$  sea mayor que  $c$  como una hipótesis puramente matemática de la que extrae conclusiones sobre las características de las transformaciones usadas. Es decir, no se plantea la posible validez física, sino simplemente la interpretación puramente matemática de los casos particulares.

En cambio, en sus transformaciones, para  $v < c$  lo que permanece invariable es una esfera imaginaria mientras que una esfera real se transforma en un elipsoide de revolución sobre el eje de las  $x$ . Para  $v > c$  una esfera real se convierte en un hiperboloide de dos hojas y de revolución alrededor del eje  $x$ , lo que igualmente demuestra detalladamente.

Igual que Einstein con las fórmulas de Lorentz modificó las leyes de la mecánica para mantener un mismo principio de relatividad válido para toda la física, Corral hace lo propio construyendo una mecánica de tipo elíptico en la que, como en la de Einstein, la mecánica newtoniana es un caso límite para  $v \ll c$ .

A semejanza del Universo de Minkowski se puede usar el *denominado Universo de Eddington*, en el que el espacio y el tiempo se tratan como una entidad unificada dada por la invarianza de  $x^2 + y^2 + z^2 + c^2 t^2$ , (a diferencia de la minkowskiana en la que el signo de la cuarta componente es negativo). La denominación en honor al sabio inglés se debe a que, según indica Corral, Eddington fue el primero en usar dicha invarianza.<sup>7</sup> De hecho al *Universo de Eddington* se le llama también *Universo positivo*, por usar la geometría elíptica que es de curvatura positiva, frente a la hiperbólica del de Minkowski que es de curvatura negativa.

Se puede demostrar, lo que hace Corral, que las nuevas transformaciones también forman grupo y se puede establecer una ley de composición de velocidades en las que ahora las velocidades pueden ser mayores que la de la luz. También se demuestra que en la nueva mecánica de tipo elíptico ahora la longitud no se acorta con la velocidad, sino que se alarga. Igualmente el tiempo en vez de dilatarse se contrae, es

---

<sup>7</sup> Aquí Corral no da referencias de algún texto de la obra de Eddington. Más tarde cita algunas partes de su obra *Espacio, tiempo, gravitación*.

decir que con la velocidad el tiempo de un sistema corre más deprisa. No hay, pues, espacio absoluto ni tiempo absoluto, pero se define un invariante que es el intervalo espacio-temporal, dado en el Universo de Eddington por  $s = \sqrt{l^2 + c^2 t^2}$ , de la misma forma que en el Universo de Minkowski el intervalo invariante era  $s = \sqrt{l^2 - c^2 t^2}$ .

Para la cinemática relativista de Einstein la herramienta matemática adecuada era la geometría hiperbólica de Lobachevski-Bolya y para la nueva mecánica relativista definida es la geometría elíptica de Riemann.<sup>8</sup> De esta forma se puede realizar la representación geométrica de las nuevas transformaciones. La conclusión de Corral en cuanto a la implicación en el estudio de los casos límite es brillante:

Hemos demostrado que así como el grupo de Galileo define *una translación paralela al eje de las x*, en la Geometría Euclídea, nuestro grupo de transformaciones define, en la Geometría elíptica de Riemann, *un movimiento a lo largo de los hiperciclos que tienen por base el eje de las x*. Para ello, las coordenadas  $x, y, z, u$  del punto representativo del Universo de Eddington se han de considerar como coordenadas *homogéneas*, antes definidas, en un espacio riemanniano de tres dimensiones de curvatura constante positiva. Suponiendo infinita la constante  $c$ , la curvatura del espacio se hace nula y caemos en el espacio euclidiano; de la Geometría elíptica de Riemann se pasa a la de Euclides; los hiperciclos se convierten en rectas paralelas al eje de las  $x$ , y nuestro grupo se reduce al grupo de Galileo o de Newton.<sup>9</sup>

En cuanto a la aplicación de la geometría elíptica a la nueva mecánica, realmente se puede construir una nueva teoría completa que contemple la cinemática, la dinámica y el campo electromagnético, estudiando previamente las modificaciones de dicha geometría en el cálculo vectorial (con los cambios asociados a los conceptos de producto vectorial, divergencia, rotacional, etc). Igualmente se pueden establecer las ecuaciones fundamentales de la dinámica y ecuaciones del movimiento, ecuaciones en dinámica analítica (ecuaciones de Lagrange en mecánica elíptica y ecuaciones canónicas de Hamilton).<sup>10</sup> De la misma forma, hay que realizar la correspondiente adaptación en el cálculo tensorial para determinar unos nuevos tensores asociados a propiedades físicas en el Universo de Eddington, como el tensor energético, el material, el electromagnético, el de gravitación, estableciendo así una nueva teoría de la gravitación.

Partiendo del nuevo tensor de energía, plantea Corral el problema de la inercia de la energía, obteniendo la misma expresión que la de Einstein,  $E=mc^2$ , lo que le lleva a Corral a realizar una interesante reflexión: el hecho de que se obtenga la misma relación entre masa y energía en las dos mecánicas, lleva a definir a este principio de

<sup>8</sup> Realmente Corral en este texto se cuida de llamar mecánica relativista a su propuesta, simplemente la denomina mecánica elíptica. Pero en Cuba publicó un texto con un contenido similar denominado *relatividad elíptica*, La Habana, 1929.

<sup>9</sup> J.I. Corral, *Mecánica no-newtoniana de tipo elíptico*, Memoria R. Acad. Ciencias Madrid, 1929, p. 44.

<sup>10</sup> Todo lo cual lo desarrolla con rigor el autor en sucesivos apartados.

la inercia de la energía como “verdad absoluta”, en el sentido de que es independiente del tipo de mecánica y geometría consideradas.

Tanto en la teoría de Einstein como en la nueva, los potenciales de la forma diferencial cuadrática forman un determinante  $g=|g_{\mu\nu}|$ , y se puede demostrar que en el Universo de Minkowski  $g=-1$  y en el Eddington  $g=+1$ ; “luego indudablemente existe otra clase de Universos (*matemáticamente y filosóficamente posibles*) para los cuales su determinante  $g$  es un número positivo. De aquí el nombre de *Universo positivos* con el cual los designamos” (pág 119). Esta reflexión es muy interesante ya que indica que Corral no plantea realmente una teoría alternativa a la de la relatividad einsteniana, como veremos más adelante, al juzgarla más acorde con las observaciones, sino simplemente la posibilidad de contemplar otras posibilidades, independientemente de que sean representativas o no de la realidad. De hecho al plantear el que la ley general de la gravitación en una región vacía de materia y de energía se expresa igualando a cero el tensor de Riemann-Christoffel contraído, esto es  $R_{\mu\nu}=0$ , afirma “Este es el descubrimiento verdaderamente genial de Einstein, que se aplica a toda clase de Universo, entre ellos a los *positivos*”.

De la misma forma que se ha hecho con la aplicación de la geometría elíptica a la mecánica, en el nuevo *Universo positivo*, una vez realizado la correspondiente adaptación en el cálculo tensorial, se puede establecer una nueva teoría de la gravitación, calculando el movimiento de un punto libre. Se obtiene pues una ley de gravitación similar a la de Einstein pero con el signo cambiado respecto al tensor de energía. En las dos teorías se llega a la misma ley de Newton como caso particular en el límite de campos pequeños. Esta situación le da pie a Corral a realizar otra interesante reflexión sobre la validez de la ley de Newton, en relación con un planteamiento similar por parte del matemático francés Chasles en 1889:

La ley de Newton sobre la gravitación universal, en virtud de la cual los cuerpos se atraen en proporción a sus masas y en razón inversa del cuadrado de la distancia que mutuamente los separa, fue también objeto de las cavilaciones de Chasles (ilustre geómetra francés), desde el punto de vista de la dualidad universal, llegando a preguntarse si algún día podría llegar a ser descubierta otra nueva ley que fuese *correlativa* a la de Newton y que también sirviera para la explicación de todos los fenómenos celestes (*percu historique sur l'origine et le développement des méthodes en Géométrie*, M. Chasles, páginas 408-412, año 1889). Y en este orden de consideraciones decía Chasles que bien podría resultar que dicha ley de Newton fuese *correlativa* de sí misma, en cuyo caso quedaría demostrado que ella era verdaderamente la suprema y única ley del Universo.

Desde Newton, todos los esfuerzos del espíritu humano para enunciar otra ley de gravitación universal, han resultado fallidos y estériles; en más de tres siglos, la esfinge ha permanecido muda y ha conservado avaramente su tesoro; en ella han rebotado, cual pelota en dura parte, todas las sutilezas y empeños de los investigadores. Ha sido necesario el potente genio de Einstein para que la esfinge hablara y diese una parte de sus conocimientos: *La ley de Newton ha sido generalizada*; se ha demostrado que es un caso particular de otro enunciado más amplio;

pero hasta ahora no se ha descubierto en estos estudios la *correlatividad* de Chasles, que, a nuestro juicio, hay que buscarla para la ley de Einstein, no para la de Newton, ya que nos figuramos que ésta es realmente la fórmula suprema y sencilla que parece regir la materia en sus múltiples manifestaciones y que muy bien puede resultar corolario de dos leyes generales: la ya conocida de Einstein y la de su *correlativa*, si llegara algún día a encontrarse.

Esa correlatividad que se manifiesta tan elegantemente en Geometría con la teoría de las figuras polares-recíprocas de Poncelet; en el Álgebra, con la teoría de la resolución numérica de las ecuaciones, aparece después en las Mecánicas adaptadas a las Geometrías no-euclidianas de Lobatchefsky y de Riemann, con la Relatividad ordinaria de Einstein y La Relatividad elíptica que venimos exponiendo; pero al pasar a la Relatividad generalizada, dicha correlación, que buscaba Chasles para la ley de Newton sobre la gravitación universal, es sólo una cuestión de signos, pues conduce a considerar Universos negativos, que tienen en cada punto acontecimiento, en un dominio cuatridimensional infinitamente pequeño, al Universo de Minkowski como un universo tangente, y los Universos positivos, cuyo Universo euclidiano-cuatridimensional-tangente es el llamado por nosotros Universo de Eddington.<sup>11</sup>

Con la teoría de la gravitación asociada al *Universo positivo* de Eddington se pueden realizar las pertinentes aplicaciones concretas para los casos del corrimiento del perihelio de los planetas, la desviación de la luz y el corrimiento del espectro en un campo gravitatorio. Para el perihelio de los planetas, la ecuación diferencial de la órbita planetaria es la misma en ambos universos, salvo en un factor igual en valor absoluto pero que en el Einstein es positivo (lo que indica un avance del perihelio) y en el de Eddington negativo (lo que indica un retroceso). En cambio para la desviación de los rayos luminosos se obtiene los mismos resultados, por lo que este caso se considera otra “verdad absoluta”. Por último en el corrimiento del espectro también se obtienen los mismos valores pero cambiados de signo, lo que implica que en el Universo positivo el corrimiento, es hacia el violeta en vez del rojo.<sup>12</sup>

Un aspecto muy interesante de esta obra de Corral es el estudio que hace de los experimentos de Sagnac y de Miller, que provocaron una cierta polémica en la época sobre la validez de la relatividad. Muy sintéticamente la experiencia de Sagnac consiste en evidenciar la rotación de un disco por medio de un efecto óptico, mediante el corrimiento de franjas de interferencia con una serie de espejos situados en los bordes de un disco plano y un haz luminoso que después de varias reflexiones produce unos rayos que deben interferir.<sup>13</sup> Pues bien, algunos autores, como Langevin explicaban el fenómeno sin recurrir a la relatividad, otros, como Emile Ricard, sostenían que el resultado es contradictorio con la teoría de Einstein. Pero como

<sup>11</sup> J.I. Corral, *Mecánica no-newtoniana de tipo elíptico*, Memoria R. Acad. Ciencias Madrid Madrid, 1929, p. 150 y 151.

<sup>12</sup> Igualmente todo lo anteriormente indicado lo demuestra detalladamente Corral.

<sup>13</sup> Evidentemente el experimento es mucho más complejo, se puede seguir en Corral, 1929, p 207 a 210.

informa Corral, Langevin demostró posteriormente que la relatividad daba una explicación correcta de dichos resultados. Ante esta situación Corral demuestra a su vez que con la mecánica elíptica también se puede explicar el fenómeno. En definitiva

La experiencia de Sagnac se explica cualitativamente y cuantitativamente en todas las teorías, por lo que no puede alegarse como argumento a favor de ninguna de ellas, ni tampoco en contra, pues todas predicen el corrimiento de las franjas de interferencia.<sup>14</sup>

En cuanto a los experimentos de Miller realizados entre 1921 y 1925, como repetición de los de Michelson que encontraron un corrimiento de las franjas de interferencia y parecían contradecir la teoría de Einstein, Corral sostiene que pueden ser compatibles con la relatividad, ya que aunque un observador solidario con la Tierra no puede ver corrimiento (lo que es compatible con la relatividad) otro fuera de la Tierra sí detectaría corrimiento (también compatible) y la posición del observador descrito por Miller es en realidad intermedia entre los dos anteriormente considerados:

Igualmente interesante es análisis del experimento original de Michelson, en el que interpretándolo desde el universo conceptual de Eddington demuestra que se deben detectar franjas de interferencia.<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Corral, *Mecánica no-newtoniana de tipo elíptico*, Memoria R. Acad. Ciencias Madrid, 1929, pág 210.

<sup>15</sup> Corral, *Ibidem*, p. 215.

### 3.6. POSICIONAMIENTOS ANTIRRELATIVISTAS, AMBIGUOS Y DEBATES ASOCIADOS.

En este apartado analizo tanto las teorías antirrelativistas, como las actitudes ambiguas de rechazo parcial o que mantenían las hipótesis del éter. Veremos también las respuestas de los científicos relativistas frente a las dudas que se planteaban por interpretación de medidas experimentales. Igualmente, en el caso de posturas ambiguas, se detallan algunas propuestas originales.

Se hace necesaria una aclaración pertinente: en el estudio de las posturas contrarias a la relatividad es donde más difusa se hace la frontera entre científicos especializados y científicos “medios”. El motivo es que algunos de los tópicos usados entre los antirrelativistas en el ámbito de la difusión cultural (como revistas de propiedad eclesiástica, periódicos, o libros de divulgación no estrictamente científicos) se usaron también por científicos contrarios a la teoría einsteniana. Se revisarán estos tópicos más adelante.

Los casos más conocidos de teorías antirrelativistas en el periodo de recepción son los del astrónomo Comas i Sola y el del ingeniero Horacio Bentabol. Posteriormente, en los años 50 surgió la teoría alternativa de Julio Palacios que se trata en el capítulo cuarto. Igualmente hubo casos de ambigüedad o cierto eclecticismo al respecto, entre los que destacan las propuestas originales de Pérez del Pulgar y la de Emilio Herrera.

En las resistencias contra la relatividad entre los científicos o pensadores se usaron una serie de tópicos que en algunos casos, para la época, podían tener algún fundamento y otros estaban basados en interpretaciones claramente erróneas. Es interesante repasarlos para entender mejor el debate, indicando, a mi juicio, qué tópicos tenían fundamento y cuáles no:

*1. La relatividad no tiene aplicación práctica.* Para esa época esta idea era correcta, ya que efectivamente la relatividad no tenía la más mínima aplicación práctica, como no fuera la explicación de hechos astronómicos. Hay que considerar que en España, fuera del ámbito científico, en esos años se valoraba principalmente la Ciencia por su aplicación tecnológica. Pero, evidentemente, este argumento no tiene ninguna solidez científica. De hecho se usó casi exclusivamente en el ámbito de la recepción popular, aunque algunos eclesiásticos con formación universitaria en ciencias físico-matemáticas sí plantearon esta circunstancia. También Comas Solá, uno de los pocos científicos contrarios a relatividad, utilizó este argumento, como veremos más adelante.

*2. La relatividad contradice el sentido común, es antiintuitiva.* También esta idea era correcta, de alguna manera era lógico cierto nivel de rechazo por este aspecto. Por ejemplo, Ataulfo Huertas, licenciado en Ciencias y uno de los escritores de temas científicos en revistas eclesiásticas, se expresaba de la siguiente manera:

La teoría de la relatividad no sólo prescinde de los sentidos como criterios de verdad, sino que en multitud de ocasiones va contra todo el orden

natural de la sensación. ¿Dónde queda el prudente realismo de Aristóteles?.<sup>1</sup>

Luis Urbano defiende a la relatividad de este tipo de planteamientos indicando que la invariancia de las leyes es también de sentido común:

Einstein no se ha metido con el sentido común, sino con la Mecánica de Galileo, a quien precisamente condenaron por ir también contra el sentido común. No deben olvidarse las leyes que señala la epistemología, para que tanto el sentido común como los sentidos propios externos sean criterios de verdad. Einstein ha tratado de hacer «invariantes» las expresiones de los fenómenos naturales; y nada más en armonía con la filosofía perenne, que es la filosofía del "sentido común".<sup>2</sup>

El asunto del carácter no intuitivo se relacionaba con la geometría. Algunos autores rechazaban las geometrías curvas, o no euclideas, por su falta de correspondencia con nuestro sistema perceptivo y también por considerarlas como constructos matemáticos carentes de realidad, por lo tanto la relatividad general tampoco sería válida.

3. *Se rompe con la concepción absoluta del espacio y del tiempo.* Esta idea realmente es similar a la anterior, ya que los conceptos intuitivos que poseemos según nuestro sistema sensorial son los asociados a los de la Física Clásica, por lo tanto, independientemente que sea motivo o no para rechazar la relatividad por esta causa, el planteamiento es correcto. Otro tópico relacionado con esta idea, es que Einstein negaba realidad al espacio por considerar que geométricamente debía asociarse con el tiempo en un ente superior de cuatro dimensiones, el espacio-tiempo. Este planteamiento, en cambio, sí es incorrecto. De hecho, años más tarde, Palacios, hizo de este razonamiento una de sus bases argumentales.

4. *El espacio y el tiempo son iguales, lo que es inaceptable.* Esta idea es una de las que ha creado también mayores confusiones, incluso entre científicos de prestigio como Julio Palacios. Realmente la relatividad lo que dice es que espacio y tiempo son operacionalmente equivalentes y que se funden en una entidad, el espacio-tiempo, que hay que verla de forma unívoca. Pero en ningún momento se dice que sean lo mismo. Este aspecto se trata con detalle en el apartado dedicado a Julio Palacios.

5. *Se confunde la relatividad con las leyes clásicas del movimiento relativo.* Muchos autores contrarios, y también, paradójicamente, algunos favorables aunque sin formación científica, pretendían justificar parte de la Teoría de la Relatividad, reduciéndola a una simple teoría del movimiento relativo, con cuestiones de perspectiva que podían dar lugar a confusiones en nuestros sentidos, pero sin implicar consecuencias tan contradictorias para la intuición y el "sentido común". En el fondo no se comprendía bien el principio de relatividad einsteniano. Precisamente, uno de escritores eclesiásticos críticos con la relatividad pero menos combativo por lo menos en las formas, Ángel Rodríguez, sí acertó a denunciar este error de algunos antirrelativistas:

---

<sup>1</sup> Huertas, *Revista Calasancia*, 1923, p. 299.

<sup>2</sup> Luis Urbano, *Einstein y Santo Tomás. Estudio crítico de las teorías relativistas*, 1926, p. 52.

Y puesto que no son nuevas, ni fenómenos desconocidos, y que se han explicado sin el auxilio de la teoría novísima, aunque sean fenómenos relativos, ninguna novedad presentaría en este caso la relatividad de Einstein. Luego esa relatividad ha de ser cosa muy distinta de las relaciones geométricas, de óptica y de perspectiva.<sup>3</sup>

6. *La relatividad supone la quiebra total de toda la física anterior.* Aunque esta idea, sin un análisis riguroso, pueda ir asociada con algunas de las anteriores, es incorrecta. Además se dio entre autores no científicos, tanto antirrelativistas como relativistas sin rigor científico que intentaban sacar de contexto la teoría para remarcar su carácter revolucionario. El hecho de que la relatividad incluye como caso límite la clásica es un claro síntoma de la incorrección de tal idea. Una muestra de este tópico lo tenemos en Nolasco de Medio, clérigo y profesor de filosofía:

También para el fenómeno de la gravitación, en el sentido clásico, el relativismo inventa su propio *campo*, es decir, un espacio atravesado por líneas de fuerza (líneas más o menos imaginarias) y procedente de la masa corporal hacia la que se verifica la tracción. Es esta invención ventajosa como medio de explicación, pero admitiéndola en realidad, no se suprimen las acciones a distancia. Todo se reduce (cuestión más bien de nombre) a sustituir en el resultado final de la atracción el espacio mismo influido por el cuerpo atrayente por la masa atractiva [...].

De todas maneras, la teoría newtoniana de la gravitación universal subsiste la misma en el fondo y ningún descubrimiento ha hecho el relativismo acerca del particular, digno de mencionarse. Lo que ha hecho por su parte Einstein es *imaginar* campos gravitatorios donde ninguna falta hacen, o donde si existen, no son gravitatorios, sino de otra naturaleza, y hasta alguno de acción opuesta a la de la verdadera gravitación, cual sucede con el de la fuerza centrífuga.<sup>4</sup>

Enrique de Rafael destacó la arbitrariedad de este tipo de argumentos, incluso entre los defensores de la teoría. Es cierto que algunos de éstos quisieron acentuar el marcado carácter de aniquilamiento de la física clásica, pero no eran científicos, sino divulgadores sin gran conocimiento que especialmente se valían de la prensa escrita. Respecto a la objeción de que se destruyen los resultados tan bien confirmados de la física clásica, De Rafael apunta que supuso una mayor revolución la de Copérnico, Galileo y Newton, y que en verdad la relatividad es un perfeccionamiento sólo en determinado tipo de medidas. También interpreta como una gran confusión errónea el supuesto de que la relatividad del tiempo implique la alteración temporal de las relaciones de causa-efecto. Dice que esto no se puede dar precisamente por el límite de la velocidad de la luz:

Tanto los defensores de la teoría expuesta, como sus impugnadores, han exagerado excesivamente las divergencias de la misma con relación a la clásica de Newton. Tal vez en ello han intervenido más la pasión o el

<sup>3</sup> Ángel Rodríguez, *Sobre la teoría de la relatividad propuesta por el Dr. A. Einstein*, 1924, p. 17.

<sup>4</sup> Nolasco de Medio, *Relatividad y Energía*, 1922, pág 38.



interés periodístico populachero, amigo de paradojas y hasta contrasentidos, que la reflexión o el conocimiento de causa.<sup>5</sup>

A este respecto, vimos que Levi-Civita planteaba que la relatividad, representada en formalismo hamiltoniano de coordenadas generalizadas, no era más que una extensión de la mecánica clásica.

7. *Se cae en el relativismo filosófico*, es decir se asociaba relatividad con la corriente filosófica asociada al relativismo. Este planteamiento no sólo es incorrecto, sino que ha sido uno de los mayores motivos de confusión en torno a la relatividad, aunque ciertamente no en el terreno científico. El considerar que, según esta teoría, conceptos tan arraigados como el espacio y el tiempo son relativos, entonces por extensión todo puede ser relativo, fue motivo de conclusiones fuera de contexto y uno de los aspectos de los que más se aprovecharon los divulgadores sin rigor para tratar de forma poco científica e incluso humorística la nueva teoría. De hecho, muchos de los autores antirrelativistas, denominaban a la teoría einsteniana “relativismo”. Paradójicamente, la Teoría de la Relatividad se basa en una ley de invariancia, por lo cual se hacen relativos los conceptos de espacio y tiempo, como hemos visto. Precisamente la relatividad vino a solventar uno de los problemas más cruciales en los que se encontraba la Física, en auténtico estado de crisis, por la incompatibilidad entre las leyes de la Mecánica y las del Electromagnetismo respecto al movimiento relativo. La relatividad vino a hacer compatibles ambas teorías, al cambiar las leyes de la Mecánica, consiguiendo, mediante el principio de covarianza, que todas las leyes fueran las mismas en todos los sistemas de referencia. El propio Einstein, debido a estos equívocos, muchos años después declararía que se arrepentía de haber denominado a su teoría como relatividad, en vez de Teoría de la Invariancia, que consideraba más correcto. Un colaborador científico de la *Revista Calasancia*, Benjamín Navarro, trata este aspecto con gran acierto, concluyendo que “Más que relatividad, el principio enunciado debería llamarse de independencia”.<sup>6</sup>

También Luis Urbano reflexionó sobre este problema, destacando lo equívoco del nombre como la principal enemiga de la relatividad, ya que si todo es relativo se niegan “las leyes del ser y la substancia”, y aclara el carácter de teoría de lo absoluto de la teoría einsteniana:

Pero sucede en esta teoría lo contrario de lo que hace sospechar su nombre, pues lo real de la teoría de la relatividad es un absoluto ontológico, se inventó para dar solidez o hacer invariantes las expresiones de las leyes de la Naturaleza.<sup>7</sup>

8. *Es una teoría matemática, por lo que su rango de validez se debe limitar a este campo y no al conceptual ni a sus implicaciones filosóficas*. Es otra idea errónea, ya que las teorías físicas se basan a su vez, en teorías matemáticas. Aún así, este argumento sí fue utilizado por científicos, entre otros por Palacios y Comas Solá. Si una teoría tiene fundamento experimental, la posible interpretación filosófica no acorde

---

<sup>5</sup> Enrique de Rafael, *Razón y Fe*, 1922, t 64, p. 357.

<sup>6</sup> Navarro, “De relatividad” *Revista Calasancia*, 1922, p. 39.

<sup>7</sup> Luis Urbano *Einstein y Sto. Tomas*, 1926, pág XIII de la introducción.

con el pensamiento que pueda tener cada uno es un problema del que realice dicha interpretación, no extrapolable a la validez de la teoría en su aspecto conceptual.

Aparte de tópicos, más o menos fundados, tres aspectos caracterizan el posicionamiento ambiguo en científicos que aceptaban parte de la teoría relativista: la resistencia a abandonar la hipótesis del éter, el problema de la constancia de la velocidad de la luz y la paradoja de los relojes o "gemelos". Sobre las dos primeras se van a ver varios ejemplos en este mismo apartado. En cuanto a la tercera, se reabrió el debate en Estados Unidos en los años 50, cuya polémica utilizó de forma persistente Palacios en su propuesta antirrelativista, como veremos en el capítulo siguiente.

En *los Anales de Física* algunos físicos españoles se hicieron eco de posturas contrarias a la relatividad, mediante la publicación de algunas reseñas sobre autores extranjeros contrarios a Einstein, que pudieran indicar cierta resistencia entre algunos físicos españoles a aceptar la relatividad. Concretamente fueron Vecino, Estalella, Navarro y Martínez-Risco, siendo este último el que posteriormente más destacó como científico. En estas reseñas se comprueba cierto grado de ambigüedad entre sus autores, al no tomar partido al respecto, al contrario de lo ocurrido en las revistas de la Sociedad Matemática, donde se utilizaban las reseñas antirrelativistas para criticar sus argumentos. Los ejemplos son significativos. Apareció una reseña sobre un libro de Georg Helm que intentaba hacer compatibles la relatividad con el mantenimiento de la teoría del éter, para lo que realizó un desarrollo matemático con el objetivo de justificar el que las supuestas "ondas etéreas transmitidas al través de los cuerpos obran como si la parte del espacio en que tienen lugar, con respecto al éter, estuviese en reposo"<sup>8</sup>

Martínez-Risco realizó varias reseñas.<sup>9</sup> En la primera se muestra que varios experimentos realizados sobre la variación de inercia electromagnética del electrón, parecen favorecer la relatividad. Se llega a la misma expresión  $m=m_0(1-v^2/c^2)^{-1/2}$  de la relatividad, pero indicando que aunque experimentos posteriores confirmasen esta relación esto no tiene porqué ratificar la relatividad ya que con las formulas de Abraham se obtendrían similares valores. Recordemos que en esos años Abraham intentaba construir una teoría alternativa a la de Einstein, entrando en debate con el creador de la relatividad. Hubo otras dos reseñas sobre trabajos de Sagnac relacionados con experimentos del éter, en las que Martínez-Risco se muestra convencido de la bondad de un experimento óptico de Sagnac que demuestra la existencia del éter, pero no se detalla lo suficiente como para poder contrastar dichos resultados. Aunque sí se dice "El resultado de las medidas prueba que, en el espacio ambiente, la luz se propaga con velocidad  $V_0$ , que no depende del movimiento de conjunto del foco luminoso y del sistema óptico. Esta propiedad del espacio

<sup>8</sup> J. Vecino Reseña sobre Georg Helm "El principio de relatividad en la hipótesis del éter" en *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, 1912 (Tomo 10, 1912, p. 200).

<sup>9</sup> Martínez-Risco, Reseña sobre artículo "Determinación teórica de la variación de la masa del electrón en función de la velocidad" de J.Kunz; en *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, 1913, t 11 p 85. Martínez-Risco, Reseña sobre Sagnac "El éter luminoso; comprobación de su existencia por efecto del viento relativo del éter en un interferómetro en rotación uniforme" y "Prueba de la realidad del éter luminoso mediante el experimento del interferómetro en rotación"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, 1914, t 12 p 15.

caracteriza experimentalmente al éter luminoso". Vemos así como aun manteniendo la hipótesis del éter se aceptaba la constancia de la velocidad de la luz.

Por las reseñas de Martínez-Risco no se puede deducir su pensamiento al respecto, en todo caso la falta de criterio para apostar en un sentido u otro. En cambio, en el caso de Estalella, se intuye su clara prioridad por las teorías contrarias a Einstein. Publicó dos reseñas. En la primera se considera que los postulados de la relatividad especial no son más que convenciones puramente matemáticas que son cómodas para representar los fenómenos físicos pero que no se deben admitir como hipótesis físicas. Algo similar opina Estalella sobre la geometría no euclídea que es la más cómoda para explicar los fenómenos gravitatorios, pero no deja de tener un carácter convencional para dicha teoría. Es una reseña interesante como ejemplo de postura contraria a la relatividad.<sup>10</sup>

Al año siguiente Estalella se hace eco de la teoría exclusivamente mecánica de la gravitación de Stjepan Mohorovicic, un físico croata que se significó años más tarde por su postura contraria a la relatividad, llegando a colaborar con Palacios. Mohorovicic planteaba la acción de la gravitación debida a un éter discontinuo, idea relacionada con la futura de Palacios que interpretaba los efectos gravitatorios como distorsiones en el éter que explicaban fenómenos como la desviación de los rayos luminosos.<sup>11</sup>

Por último, en 1924 Navarro realizó un extenso resumen (no se puede considerar una reseña, sino más bien un artículo) sobre la obra de Malet "La inutilidad del espacio-tiempo (resumen de una crítica de la teoría relativista)"<sup>12</sup>. Malet propuso unas nuevas ecuaciones de transformación que salvaran el tiempo absoluto. Basa su crítica a la concepción del espacio-tiempo relativista en que todo el desarrollo se cimienta en unas ecuaciones de transformación, las de Lorentz, que se han buscado para mantener la validez de las ecuaciones de Maxwell. Según Malet, las ecuaciones de Maxwell pueden perfectamente ser reinterpretadas. Se apoya en las opiniones antirrelativistas de Bergson. Recordemos que es un autor francés, país donde parte de la comunidad científica mantuvo una oposición combativa contra la relatividad.

El más destacado de todos los antirrelativistas españoles de la época, entre otros motivos por su prestigio como astrónomo, fue Comas Solá, que además fue el único que, en esos años, propuso una teoría alternativa.<sup>13</sup> Ante la crisis de la Física Clásica, Comas era partidario de recuperar la teoría de la emisión de Newton. Para Comas, fue un error postular la hipótesis del éter para así salvar el carácter ondulatorio de la luz. Reconoce que de la interpretación del experimento de Michelson Morley se debía incluir el hecho de la independencia de la velocidad de la luz respecto al movimiento de traslación de la Tierra, pero a base de postular, artificiosamente, según él, y

<sup>10</sup> J. Estalella; Reseña sobre Raschevski "Investigaciones críticas acerca de los fundamentos físicos de la teoría de la relatividad" en *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, tomo 21 Revistas, 1923, p. 115.

<sup>11</sup> J. Estalella; Reseña sobre Stjepan Mohorovicic "Eter, materia, gravitación y teoría de la relatividad", *Anales de Soc. Esp. Física y Quím.*, v 22, 1924, p106.

<sup>12</sup> *Anales de Soc. Esp. Física y Quím.*, v 22, 1924, p 108-118.

<sup>13</sup> Respecto de la cual, Sánchez Ron y Roca se refieren como "una <<teoría>>, por llamarla de algún modo" (En *Esteban Terradas, Ciencia y técnica en la España contemporánea*, ediciones del Serbal, 1990, p. 60).

contrario a la intuición, la constancia de la velocidad de la luz. Se deducía de ese postulado que las radiaciones eran independientes del foco emisor, con lo que él no estaba de acuerdo. Para solucionar estas contradicciones era necesaria una teoría de emisión de las radiaciones que, partiendo de la de Newton, se propuso desarrollar. Pero es muy importante destacar que Comas nunca formuló su teoría matemáticamente, a la que llamó hipótesis “emisivo-ondulatoria”. Consistía en suponer que la radiación, aun siendo ondulatoria, se produce por emisión de partículas sin masa sensible, pero que siguen la ley de inercia como la materia, por lo que deben participar completamente del movimiento del cuerpo emisor.

Comas, en mi opinión, fue perdiendo argumentos de rigor científico cuando criticaba la relatividad en términos como los siguientes:

La teoría de la relatividad, decía yo, y lo repito, no tiene el menor valor práctico dentro de la vida humana, en el caso de ser cierta. [...] Ni siquiera las ciencias aplicadas pueden experimentar la menor alteración por las arduas sutilezas de la consabida teoría. Sólo en algunos puntos muy limitados de Astronomía y en correcciones de segundo orden podrían manifestarse los efectos de Einstein, en el caso de ser éstos reales. La teoría de la relatividad es una teoría puramente matemática y divorciada por completo del concepto físico de la realidad.<sup>14</sup>

Se comprueba que estas expresiones son un ejemplo de hasta tres tópicos de los usados contra la relatividad y citados anteriormente: la falta de aplicación práctica, el que fuera contraria al sentido común y el tener campo de validez exclusivamente matemático. Además, reflejan una cierta acritud, característica del carácter “combativo” de Comas.

No siempre fue así, porque en 1915 Comas Sola publicó un artículo más propio de un científico profesional, con el título “Desplazamientos rápidos de estrellas revelados por la fotografía”.<sup>15</sup> En este trabajo planteaba que algunas observaciones podían explicarse con el principio de relatividad y se mostraba dubitativo al respecto.

Cuando Einstein visitó Barcelona, Comas intentó intervenir públicamente en una de las conferencias. Previamente ya le habían desautorizado para ello. Parece, por lo que cuenta Comas, que posteriormente, no en público, le pudo presentar brevemente su teoría que expuso de la siguiente manera: si la luz parecía tener siempre la misma velocidad era porque el observador siempre “marcha con la luz” y que por su carácter emisivo tenía inercia, lo cual era incompatible con un postulado básico de la relatividad especial. No sabemos si Einstein le contestó, porque de esta conversación solo expresa Comas su interlocución en el artículo citado anteriormente, en el que se quejaba sobre la negativa a intervenir.

---

<sup>14</sup> Comas Solá, “Las conferencias del profesor Einstein”, *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, v XIII, 1923, p. 21.

<sup>15</sup> Comas Solá, “Desplazamiento rápido de estrellas revelados por la fotografía”. *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, 1915, p. 25.

Comas logró publicar un artículo sobre su teoría en la revista francesa *Scientia*<sup>16</sup> y tuvo alguna repercusión en Francia, especialmente porque se hizo eco un ingeniero hispano-francés con una teoría alternativa similar a la de Comas, lo que provocó una crítica a la teoría de Comas por otro científico francés. Aun así, no llegó a trascender en la élite científica, lo que Comas pareció no asumir por el carácter de sus artículos reiterados en el *Boletín del Observatorio Astronómico Fabra*, del que era director. Utilizó el boletín como medio para difundir su teoría emisivo-ondulatoria de la energía radiante y sus planteamientos rotundamente antirrelativistas. En 1919 publica “Consideraciones sobre el principio de la relatividad y la teoría emisivo-ondulatoria de la energía radiante”<sup>17</sup> y en 1920 “Comentarios sobre la teoría de la relatividad”<sup>18</sup> que es un ataque a prácticamente todos los principios de la relatividad.<sup>19</sup>

No siempre el recelo hacia la relatividad tuvo connotaciones polémicas. Un ejemplo fue Echegaray, del que hemos dicho que mantuvo un significativo silencio y sólo esporádicamente realizó algún comentario sobre la importancia de mantener el edificio de la física clásica, pero en cualquier caso siempre sin entrar en polémica.

Otro ejemplo de algún científico que se resiste a admitir la relatividad, pero en tono amable y reconociendo la aportación de la nueva teoría a la ciencia, es el del matemático Luis Octavio de Toledo, catedrático de la Universidad Central que fuera presidente de la sección de matemáticas de la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*. En su discurso de contestación a José María Plans en la recepción de éste como académico en Madrid, dice sobre la relatividad, después de elogiar de forma notable a Plans y destacarlo como entusiasta relativista:

Pero ha de permitirme mi buen amigo y compañero que yo no sienta esos mismos entusiasmos: es cuestión de edad, de educación científica y, tal vez, de temperamento también. Educado en la Mecánica newtoniana, al ver romper sus bases y fundamentos y sustituirlos por otras concepciones, me produce alguna sorpresa, y mi ánimo duda y vacila antes de admitir los nuevos principios. No es posible negar la necesidad de una revisión de las bases en que las ideas de Newton se apoyaban; no es tampoco posible negar solidez y profundidad a la forma en que las nuevas se nos presentan; pero yo no puedo entregarme a ellas plenamente sin que las pruebas experimentales en que hoy se apoyan presenten alguna mayor garantía de plena confianza de la que actualmente ofrecen.<sup>20</sup>

Esta sinceridad mostrada por el académico podría ser, desde una perspectiva kuhniana, un buen ejemplo de testimonio directo de resistencia a la asimilación de una teoría revolucionaria.

<sup>16</sup> Comas, “Nueva teoría emisiva de la luz y de la energía radiante en general”, *Scientia*, 1924,. Información obtenida de Roca Rosell, “J. Comas Solá, astrónomo de posición”, *Mundo Científico*, nº 56, vol. 6, p. 297.

<sup>17</sup> *Boletín del Observatorio Fabra*, Septiembre- Octubre 1919, p. 6-12, 1919, p 62-68.

<sup>18</sup> *Boletín del Observatorio Fabra*, Nº Julio a Octubre 1920, p 4-11, 1920, p 122-129.

<sup>19</sup> Para más información véase Roca Rosell, “J. Comas Solá, astrónomo de posición”, *Mundo Científico*, nº 56, vol. 6, p. 290-303.

<sup>20</sup> Luis Octavio de Toledo y Zulueta, “Contestación” al discurso de recepción en la R. Acad. Ciencias Madrid de José María Plans, el 14-5-1924, *Discursos R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1924, p 57.

Otros ejemplos de posturas antirrelativistas, si bien ya en el ámbito de los ingenieros fueron Felix Apraiz y Horacio Bantanbol. Estos casos son significativos porque la mayoría de los ingenieros no sólo asumieron la relatividad, sino que participaron activamente en la difusión de la misma. Aunque he comentado en la Introducción, que en principio no iba a considerar la labor de los ingenieros, por limitarnos a la comunidad científica especializada, sí creo conveniente presentar estos casos, precisamente por su posicionamiento contrario o ambiguo frente a la relatividad.

Apraiz, doctor en Ciencias e ingeniero, intervino en el congreso de Oporto de la AEPC (1921), defendiendo la teoría mecanicista del éter, por la cual los fenómenos eléctricos y magnéticos son de naturaleza puramente mecánica<sup>21</sup>. Aunque en ningún momento cita a Einstein ni la relatividad (sí lo hace en cambio de Lorentz y su teoría del electrón), por su planteamiento inequívoco del éter mecánico se puede considerar claramente antirrelativista. Esta postura se ratifica años más tarde, al presentar en 1929 otra comunicación en el congreso de la AEPC de Barcelona, donde, aun aceptando la estructura del espacio-tiempo de la relatividad, vuelve a insistir en la naturaleza mecánica de la interacción electromagnética.<sup>22</sup> Aun con todo, Apraiz no polemizó agriamente como otros antirrelativistas.

En los años 20 hubo varias polémicas protagonizadas por el ingeniero Emilio Herrera y tratadas en medios de divulgación como periódicos o revistas; una sobre el problema de si la luz pesaba o no, y otro sobre el límite de la velocidad de la luz. En el primer caso se resumió en una carta escrita por Herrera a Eddington y contestada por éste que el primero publicó en el diario *El Sol* el 12 de Marzo de 1920.

Emilio Herrera aceptaba la relatividad general pero no la especial, porque él pensaba que toda teoría tenía que ser intuitiva y acorde con el "sentido común". Sobre este tema hubo una polémica entre ingenieros, que no trascendió a los científicos especializados, quizá porque ya eran unas fechas tardías en las que en ese nivel no se cuestionaba la relatividad. Se consideraban superados los debates en torno a los aspectos sobre el sentido común y el papel de la intuición en la ciencia. También Herrera estaba en contra de las constantes de la naturaleza por cuestiones religiosas, ya que implicaban una limitación en la "creación". En cambio, sí pareció aceptar la relatividad general porque era compatible con una teoría suya (que realmente era una variación de las teorías sobre el hiperespacio de carácter seudofilosófico) sobre un modelo cosmológico curvado y no euclidiano, constituido por cuatro dimensiones espaciales. Inicialmente su teoría no tenía nada que ver con la relatividad pero posteriormente publicó un artículo en el que intentaba compatibilizar ambos sistemas. Apareció en 1934 en los *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.* con el título "El Universo y la hiperdinámica".

Otro caso de antirrelativismo que merece ser tratado, aunque sea brevemente, es el de Horacio Bantanbol, por su tratamiento original sociológico. Planteaba que los

---

<sup>21</sup> Felix Apraiz, "La interpretación mecánica de los fenómenos eléctricos y magnéticos. Sesión del 30 de Junio de 1921", *Actas Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias, congreso de Oporto*, tomo V, sección Ciencias físico-químicas, Madrid, 1922, p. 73 a 85.

<sup>22</sup> Felix Apraiz, "La electrodinámica de los cuerpos en movimiento y el retorno a la Mecánica clásica. Sesión del 22 de Mayo de 1929", *Actas Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias, duodécimo congreso*, tomo V, sección Ciencias físico-químicas, Madrid, 1930, p. 5-6.

científicos españoles habían aceptado la relatividad sin ningún espíritu crítico, más por una cuestión de prestigio y por el aspecto mítico de la teoría (el tema recurrente de la incomprensibilidad ) y su creador, que por un auténtico convencimiento. En esto coincidía con Comas, que también criticaba la excesiva atención y aparente asimilación que consideraba ficticia. Las ideas de Bentabol las resumió en un libro que contenía razonamientos algo excéntricos para negar validez a las comprobaciones experimentales de la relatividad general. Se basaba en unas conferencias en el Ateneo de Madrid, poco después de la visita de Einstein, que se publicaron en 1925 con el título *Observaciones contradictorias a la teoría de la relatividad del profesor Alberto Einstein*. Reproducimos el principio por lo significativo del planteamiento que se centraba en el problema de la incomprensibilidad:

La interesante e importantísima conferencia que va a continuación [...] aunque desarrollada con un marcado humorismo y en términos sencillos y clarísimos al alcance de todo el auditorio presente en aquel momento en el salón de actos del Ateneo de Madrid y seguramente al de los lectores de esta reproducción, puesto que al contrario de lo que suelen decir los admiradores de las doctrinas del profesor Einstein para su perfecta inteligencia no es necesaria ninguna profunda y especial preparación matemática, tiene en el fondo un valor científico y una solidez de doctrina de que carecen las pretendidas teorías criticadas. Por lo cual se publica en la seguridad de que a pesar del retraso con que se da a la imprenta no ha perdido interés ni utilidad puesto que no solo rectifica los principales errores del sabio alemán sino otros varios demasiado extendidos y muy necesitados de rectificación; por lo cual el discurso del Sr Bentabol obtendrá seguramente un triunfo definitivo sobre las supuestas teorías del profesor Einstein y sobre otras divagaciones de diversos sabios, sustituidos en esta conferencia por afirmaciones verdaderamente científicas, perfectamente inteligibles, ciertas y verídicas y por tanto, incommovibles.

[...] a no ser que busquen expresamente un éxito y galardón particular en la nebulosidad de sus conceptos, de tal modo que cada uno de sus oyentes o lectores pueda creer entender que lo que el maestro dice concuerda con el modo de ver las cosas (o de creer verlas) propio del discípulo.

[...] ¿por qué callan nuestro científicos? tal vez por temor al ridículo ante el prejuicio establecido de nuestra supuesta incapacidad científica.

Bentabol cita a Comas y a Bouasse, profesor de la Universidad de Toulouse, también antirrelativista que publicó en la revista italiana *Scientia*. Bentabol escribió una carta al Director de la *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, que apareció publicada en este medio, en el que se queja de no haber recibido respuesta del rector de la Universidad Central sobre una propuesta suya en la que planteaba una discusión pública entre él y Einstein. Algunos párrafos no tienen desperdicio:

Hago constar que a pesar de mi admiración por el sabio Einstein y por sus numerosos partidarios en España, al hacer tal invitación estaba seguro de la derrota del señor Einstein (en el terreno científico), porque éste y sus teorías parten de errores, de inadvertencias y de *ignorancias* fundamentales, de las cuales, ni matemática, ni lógica ni experimentalmente, pueden deducirse mas que consecuencias falsas.<sup>23</sup>

A pesar de textos como éste, en el que se quejaba amargamente de este caso, así como de no haberle publicado ni contestado un escrito enviado a la Academia de Ciencias madrileña, Bentabol debía tener algún prestigio reconocido o influencia, ya que a partir de los años 30 escribió varios artículos en la Enciclopedia *Espasa*, entre ellos la entrada “Física” correspondiente al suplemento del año 1934. En este texto trata la relatividad pero poniendo en duda muchos de sus principios, aunque no quiso ser tan radical como en anteriores escritos, por la propia característica de la publicación en la que, además, se habían escrito entradas totalmente relativistas, como las de Terradas en 1923.

Entre los científicos no especializados también hubo alguna comunicación de ideas contrarias a la relatividad, como la del farmacéutico José María Goicoechea, que dio unas conferencias en el Ateneo de Madrid, publicadas en forma de artículos en la revista religiosa *Calasancia*. Su base para criticar la relatividad era el rechazo de la equivalencia entre masa y energía fundamentándola en cuestiones químicas.<sup>24</sup>

Aunque a partir de 1923 ya se podía considerar la relatividad asentada en nuestro país, todavía había foros en los que se intentaba mantener la hipótesis del éter, en un debate más propio de años anteriores. Es el caso de un artículo en las *Memorias de la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona* y dos artículos en la *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza* en 1931. Probablemente hay más en otros medios generalistas, pero considero relevante estos casos precisamente por publicarse en revistas de Academias científicas.

En Febrero de 1925, el Sr. Marqués Antonio de Gregorio (así firma), presentó una Comunicación en la *Real Academia de Ciencias de Barcelona*, de inequívoco título, “Sobre la relación de la materia con el éter cósmico”<sup>25</sup>. Es una conferencia algo extravagante en la que defiende una teoría suya sobre que el éter y la materia son recíprocamente transformables, gracias a los componentes del éter que son una especie de superátomos y supermoléculas que pueden implicar, por su combinación y descomposición de dichas supermoléculas, transmisiones de fuerzas. Cita cuestiones actuales de física cuántica como el modelo atómico de Rutherford y Bohr, que dice ser una teoría “bastante complicada y artificiosa”. De su propia teoría destaca la posibilidad de generarse energía atómica, aunque no cita en ningún momento la relación masa-energía según la teoría einsteniana. Tampoco hace ninguna referencia a la teoría relativista contraria a la hipótesis del éter. Es un artículo que en principio no parece cumplir requisitos de rigor científico, por lo que no sabemos el prestigio que

<sup>23</sup> Bentabol, Horacio, “Relatividad, un concurso patriótico”, *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, 1923, v. XIII, p. 29.

<sup>24</sup> Goicoechea, “Las teorías de Einstein sin matemáticas” y “Crítica de las teorías de Einstein”, *Revista Calasancia* 1923, p. 468 y 563.

<sup>25</sup> *Memorias Real Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, 1925, p. 223-227.



podiera tener el autor en la comunidad científica, aun siendo académico de la Academia de Barcelona. El mismo autor dice que esta teoría ya fue adelantada, en una revista italiana (En Abril de 1914, el *Naturalista Siciliano*, órgano de la Sociedad Siciliana de Ciencias Naturales).

José Tous y Biaggi publicó un artículo sobre las implicaciones filosóficas de la relatividad<sup>26</sup> en la Academia de Barcelona, en el que intenta compatibilizar la hipótesis del éter con el principio de relatividad.<sup>27</sup>

Los textos aparecidos en la *Revista de la Academia de Zaragoza* y firmados por Eduardo Galvez Laguarda, son también intentos un tanto excéntricos de rescatar la hipótesis del éter, siendo sus títulos claramente ilustrativos de las ideas del autor: "El efecto de aberración astronómica y su interpretación de que el éter exista y sea arrastrado por los cuerpos en movimiento" e "Interpretación del resultado de la experiencia de Michelson-Morley con arreglo a las teorías clásicas"<sup>28</sup>. Lo que considero acaba de desprestigiar la propuesta es su tono irónico en el primer artículo. Como ejemplo, en relación con el fenómeno de la contracción de la longitud refiere

Esta hipótesis pudo encontrar acogida favorable en el campo de la matemática, debido a que los matemáticos se habían dedicado a cultivar sus fantasías y precisamente esta cuestión encajaba perfectamente dentro del marco de una de sus pintorescas concepciones<sup>29</sup>.

En el segundo artículo, afirma respecto a una propuesta suya a favor del éter,

... hemos llegado, pues, a una teoría que sin necesidad de recurrir a artificiosas concepciones (contracción longitudinal, tiempo local, degradación másica, espacio no euclideo...) permite explicar los efectos ópticos del movimiento. Supone que la luz es transmitida por lo eterones al vibrar y que éstos al chocar lo hacen siguiendo las leyes de la mecánica (clásica).<sup>30</sup>

Por su escaso rigor científico, quizá los casos de Gálvez Laguarda y Antonio de Gregorio no son un buen ejemplo de la resistencia que se producía a abandonar la hipótesis del éter, resistencia que sí se dio en algunos científicos prestigiosos. Vimos como Cabrera tuvo una lenta evolución hasta abandonar completamente su creencia en el éter. Otros dos ejemplos interesantes en el proceso de resistencia conceptual respecto al éter los tenemos en Cañas y y en Fernando Tallada.

Cañas y Bonví, aceptando la relatividad, mantiene sus dudas respecto al éter, dudas que plantea desde un punto de vista exclusivamente científico, sin elucubraciones filosóficas. En su segunda edición del manual *Óptica* (Barcelona, 1915) analiza los diferentes posicionamientos sobre el éter de Hertz, Fitzgerald, Lorentz, Fresnel, Fizeau, Planck y Einstein, concluyendo que "la existencia del éter se encuentra todavía

<sup>26</sup> José Tous, "El principio de contradicción en la geometría no euclidea y en el principio de relatividad", sesión de 8-6-1926, *Memorias de la Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, 1926, p. 17-42.

<sup>27</sup> La Academia de Barcelona, como era conjuntamente de Ciencias y Artes, no publicaba exclusivamente artículos científicos, sino también otros de carácter filosófico como es éste caso, aunque relacionado con aspectos científicos de actualidad.

<sup>28</sup> Gálvez Laguarda, *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*, 1931, p. 42-45 y 46-48.

<sup>29</sup> *Ibidem*, p. 42.

<sup>30</sup> *Ibidem*, p. 48.

en discusión”<sup>31</sup> En cualquier caso el mérito de este texto de Cañas reside en lo pronto de la fecha.

Fernando Tallada, en un extraordinario artículo<sup>32</sup> sobre el problema de la axiomatización de las leyes físicas, analiza tanto la nueva mecánica cuántica como la relatividad. Respecto a esta última, no sólo no la cuestiona, sino que defiende su éxito por la explicación de la estructura fina de las rayas espectrales del hidrógeno, debida a Sommerfeld. Además realiza un análisis de los casos límite en ciencia, como el de la geometría euclídea respecto de las geometrías no euclídeas, que son las que representan de forma más exitosa el mundo físico, la mecánica analítica clásica como caso límite de la relativista o la gravitación newtoniana como límite de las ecuaciones gravitatorias de la relatividad general. A pesar de este brillante análisis, Tallada interpreta el problema de la recepción y emisión de radiación como una cuestión de interacción con el éter y como un problema de acción-reacción entre el éter y el electrón, hipótesis que permiten explicar fenómenos como la polarización y la interferencia. En definitiva, a pesar de disponer de una buena predisposición respecto a la nueva física, se niega a aceptar la idea del vacío.

Otro ejemplo de posicionamiento ambiguo, en cuanto a aceptar la relatividad pero intentando mantener la hipótesis del éter, es el del físico y astrónomo Ignacio Puig (1887-1961), que en los años treinta era director del observatorio de San Miguel en Buenos Aires y después de la Guerra Civil trabajó en el Observatorio del Ebro de Tortosa. En un pequeño trabajo sobre la expansión del Universo<sup>33</sup> se muestra ambiguo respecto de las diferentes cosmologías relativistas, que describe brevemente. El motivo principal de su ambigüedad es que la expansión del universo provocaría una deformación del éter, lo que a su vez implica una inestabilidad del mismo que es difícil delimitar o comprobar. Años más tarde, ya en España, Puig volvería sobre este asunto manteniendo la ambigüedad pero sin referencias ya a los problemas derivados de la deformación del éter, que no citaría. Volveremos sobre este asunto en el capítulo cuarto.

Aunque en este análisis sobre los posicionamientos antirrelativistas y el debate asociado me he limitado a los medios científicos, evitando la prensa diaria (como se ha explicado en la introducción sobre la metodología usada) creo interesante reflejar una publicación de una carta de Einstein (en relación con la polémica Bergson-Einstein iniciada a raíz del viaje de Einstein a Francia, que se vio reflejada con profusión en nuestro país). El protagonista en nuestro país fue Masriera. En un artículo publicado en *La Vanguardia* el 29 Octubre de 1925, Miguel Masriera refiere una carta que le envía Einstein a él mismo el 7 de Octubre, contestándole a una tesis que expuso Masriera en varios artículos del mismo periódico (sobre la crítica Bergsonianan a de Einstein y que éste conoció por Weyl) También Masriera informa que Weyl le escribió una carta sobre sus opiniones que eran coincidentes con las de Einstein. Masriera

<sup>31</sup> Cañas y Bonvín, *Óptica*, 1915, epígrafe 278, “Existencia del éter. Principio de la relatividad”.

<sup>32</sup> Fernando Tallada y Comella “El método axiomático en las ciencias Físicas -. Discurso inaugural del año académico 1929-1930” *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 1931, tomo 22, pág 302.

<sup>33</sup> Puig, Ignacio; *La expansión del Universo*, Biblioteca científica del Observatorio de San Miguel, Buenos Aires, 1935.

transcribe la carta tal cual con traducción suya lo más fiel posible. Einstein replica el argumento de Bergson de que si en un sistema no vemos dos señales luminosas de otro sistema no es porque en éste no se produzcan simultáneamente.

### 3.6.1. PROPUESTAS ALTERNATIVAS ORIGINALES: PÉREZ DEL PULGAR Y EMILIO HERRERA

Un caso interesante es el de Emilio Herrera, ingeniero militar y vicepresidente de la sociedad matemática en el año de la visita de Einstein.<sup>34</sup> Aunque en principio, ya se ha indicado que sólo se consideran los científicos especializados, físicos, matemáticos y astrónomos, parece pertinente estudiar el caso del ingeniero Emilio Herrera por varios motivos:

- Publicó en los *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* un extenso artículo sobre la hipergeometría, relacionado con una alternativa a la relatividad, que es muy similar a uno ya publicado en 1916 en una revista del ejército. En este sentido contemplo también su participación en el congreso de la AEPC en 1922. Aunque también publicó en revistas de divulgación científica, como *Madrid Científico*, en diarios de difusión general y otros medios en Francia, los escritos citados de la AEPC y la *Soc. Esp. Física y Quím.* sintetizan sus ideas al respecto.
- Planteó una teoría que conciliaba algunos aspectos de la relatividad general con la hipótesis del éter, que además, aunque algo heterodoxa metodológicamente, pretendía ser una alternativa a la cosmología relativista mediante la consideración de un espacio de cuatro dimensiones espaciales. Por lo tanto merece ser tratado en el apartado dedicado a los críticos a la relatividad en la época de recepción, aunque no se significó de forma destacada por este carácter crítico.
- Tuvo correspondencia directa con Julio Palacios sobre su crítica a la relatividad. Palacios y Herrera tuvieron un debate sobre las posibles inconsistencias de la teoría de Einstein, aunque no trascendió en medios públicos, ya que fue exclusivamente por correspondencia privada. Este asunto se trata en el capítulo cuarto.
- Participó de forma activa en la organización de la estancia de Einstein en Madrid, estando presente en sus conferencias, y en la preparación de las reuniones con Einstein por parte de miembros de la *Sociedad Matemática*, de la que era vicepresidente.
- Previamente también recibió clases de Levi-Civita sobre cálculo diferencial absoluto y relatividad. Igualmente mantuvo una polémica directa con Eddington y también correspondencia directa con Einstein.

---

<sup>34</sup> Se puede consultar el listado completo de trabajos científicos de Herrera en Atienza Rivero, Emilio; *Ciencia y exilio. El general Herrera*, Ayuntamiento de Granada, 1993. Sobre los trabajos de Herrera acerca de la relatividad, me he limitado a los aparecidos en medios científicos especializados, como los *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* y las *Actas de la AEPC*.

Efectivamente, en 1916 y 1917 Herrera publicó en una revista del ejército un trabajo<sup>35</sup> que sería la base del aparecido en 1934 en los *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* Este artículo fue presentado en 1915 a la Academia de Ciencias con el título “Hipótesis sobre la constitución del Universo”.<sup>36</sup> Aunque no tenemos noticias directas de la reacción de los miembros de la Academia, el mismo Herrera nos informa en el segundo escrito que “ha sido favorecido por la Real Academia de Ciencias con un extenso y halagador informe”<sup>37</sup> y que el propio Enrique de Rafael escribió una reseña positiva en la Revista *Ibérica*.<sup>38</sup> Es un estudio cosmológico en el que plantea una alternativa a la teoría de la gravedad de Newton, de tal forma que las fuerzas asociadas a la gravitación son consecuencia de un espacio curvo y en rotación dentro de un hiperespacio de cuatro dimensiones. Así, un sistema completo como el sistema solar estaría girando de forma elíptica, produciéndose un sistema de fuerzas debidas a la rotación y al espacio curvo que en distancias lejanas al centro del sistema sería equivalente al newtoniano. En realidad en este escrito no cita ni la relatividad ni a Einstein, aunque sí algunas anomalías en el movimiento de planetas que no se explican con la teoría newtoniana, pero sí lo harían con su teoría del hiperespacio. También demuestra conocimiento de las geometrías no euclídeas. Por otra parte plantea que el espacio hiperdimensional está ocupado por el éter, del que afirma

Aunque la naturaleza del éter es desconocida, no lo son algunas de sus propiedades como el ser extremadamente elástico, imponderable y no ofrecer resistencia al movimiento de las masas sumergidas, o quizás apoyadas, en él.<sup>39</sup>

En definitiva, en ideas como el éter, Herrera no se separa del planteamiento clásico. En cambio, sí lo hace respecto del espacio, considerando un espacio de cuatro dimensiones espaciales, aunque en ningún momento tampoco plantea dudas sobre el carácter absoluto del tiempo. El único aspecto relacionado indirectamente con la relatividad que trata Herrera es el experimento de Kaufman sobre la variación de la masa con la velocidad, que también se explicaría con su teoría. Más tarde, en 1920, en varios artículos del diario *El Sol* sí daría muestras de conocimiento de la relatividad general y del tiempo como cuarta dimensión.<sup>40</sup>

Herrera trató directamente la relatividad en una intervención en el congreso de la *Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias* de 1921 celebrado en Oporto.<sup>41</sup> Aunque comete errores típicos como que “el tiempo puede convertirse en espacio y el espacio en

<sup>35</sup> Emilio Herrera, “Relación de la hipergeometría con la mecánica celeste”, *Memorial de Ingenieros del ejército*, Madrid, Octubre 1916, vol 33, p. 371 a 388; “Relación de la hipergeometría con la mecánica celeste II”, *Memorial de Ingenieros del ejército*, Madrid, 1917, vol 34, Págs 221 a 235.

<sup>36</sup> Según informa Emilio Atienza Rivero en *Ciencia y exilio. El general Herrera*, Ayuntamiento de Granada, Proyecto Sur ediciones, Granada, 1993, p. 88.

<sup>37</sup> Emilio Herrera, “Relación de la hipergeometría con la mecánica celeste II”, *Memorial de Ingenieros del ejército*, Madrid, 1917, vol 34, p. 221.

<sup>38</sup> Repasando la revista de dicha Academia en esos años, no he encontrado nada al respecto, bien por artículo o bien por nota de trabajos recibidos. Es posible que dicho informe no se publicara (ya que no podemos dudar de la información de Herrera al ser de una honradez intachable).

<sup>39</sup> Emilio Herrera, “Relación de la hipergeometría con la mecánica celeste”, *Memorial de Ingenieros del ejército*, Madrid, 1916, vol 33, p. 373.

<sup>40</sup> Emilio Herrera, “la cuarta dimensión. El tiempo”, *Diario El Sol*, 15-10-1920.

<sup>41</sup> Emilio Herrera, “Algunas consideraciones sobre la teoría de la relatividad de Einstein”, *Actas del congreso de la Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias de Oporto*, sesión 30-6-1921, v5, 1922, p. 129-140.

tiempo, lo cual es contrario a los principios intuitivos”<sup>42</sup>, lo más interesante y novedoso es la comparación que hace de la ley de composición relativista, dada por  $(v+v')/(1+vv'/c^2)$ , con la aritmética “tangencial”. En este tipo de aritmética la propiedad aditiva es respecto a la tangente trigonométrica de un valor angular constante. Si en la aritmética clásica la función adición es de la forma  $f(a,b)=a+b$ , en la aritmética “tangencial” la función adición es  $\varphi(a,b) = c \operatorname{tg} \varphi(\operatorname{arctg} a/c, \operatorname{arctg} b/c)$  donde  $c$  es una constante que representa el valor del radio del arco cuyas tangentes crecen con la cantidad supuesta. Con esta propiedad aditiva, la suma de las cantidades  $a$  y  $b$ , ya no sería  $a+b$  sino  $(a+b)/(1-ab/c^2)$ . Herrera no indica referencias de este tipo de adición.

Herrera reconoce que la relatividad “contiene brillantes ideas compatibles con la ciencia clásica o intuitiva”, pero plantea que hechos explicados con la relatividad, como la desviación de la luz y la deformación del espacio en los campos gravitatorios

... son explicables dentro de la ciencia intuitiva con sólo admitir la existencia de dimensiones geométricas exteriores a nuestro espacio de tres, lo cual no es anti-intuitivo porque el número de tres dimensiones del espacio físico que percibimos es un dato experimental o empírico, y la intuición nos acusa la probable existencia de un espacio absoluto, exterior al nuestro, sin limitación de dimensiones.<sup>43</sup>

Para esta hipótesis no hace ningún desarrollo matemático, ni postula en qué se basa, simplemente parece que es una propuesta para salvar su concepción clásica del espacio absoluto, que admite no se puede sostener con la geometría euclidiana de tres dimensiones.

Uno de los aspectos más interesantes de la contribución de Herrera en el proceso de recepción de la relatividad fue su participación en dos debates con Eddington en 1923. El primero, más que sobre relatividad, sobre el problema de la presión de la radiación solar en el diario *El Sol*.<sup>44</sup> El segundo en *Madrid Científico*, en el que también intervinieron Lucini y Burgaleta, en diferentes artículos sobre el límite de la velocidad de la luz (aspecto que se ha tratado brevemente en el apartado 3.4). El problema radicaba en el siguiente experimento teórico: Si tenemos dos triángulos rectángulos que se mueven, con velocidades próximas a las de la luz en la misma dirección pero sentido opuesto, interceptándose en sus hipotenusas, el punto de intersección podría superar la velocidad de la luz. Eddington consideraba que no había contradicción con la relatividad porque ese punto de intersección no era algo material y no suponía ninguna señal que pudiera transmitirse. Además planteaba que en un medio elástico hay posibilidad, al menos teórica, de superar la velocidad de la luz, aunque problemas de índole práctica lo impidan. Lucini y Burgaleta participaron en la polémica, el primero defendiendo la tesis de Herrera, y el segundo rechazando el concepto de señal de Eddington, aunque aceptaba velocidades superiores a las de la luz sin que implicaran objeciones a la relatividad. La explicación de Burgaleta era que no hay imposibilidad física en que dos sistemas tengan velocidades superiores a las de la luz, pero

<sup>42</sup> *Ibidem*, p. 135.

<sup>43</sup> *Ibidem*, p. 140.

<sup>44</sup> Esta interesante historia viene detallada en Emilio Atienza Rivero, *Ciencia y exilio. El general Herrera*, Ayuntamiento de Granada, Proyecto Sur ediciones, Granada, 1993, p. 60 a 66., en donde se transcriben las cartas entre Herrera y Eddington.

entonces se produce una ausencia total de posibilidad de comunicación luminosa o electromagnética, ya que las fórmulas de transformación producen soluciones imaginarias<sup>45</sup>.

En su trabajo de 1934 “El Universo y la hiperdinámica”<sup>46</sup>, Herrera intenta compatibilizar la geometría de un espacio de  $n$  dimensiones (que él particulariza a cuatro dimensiones espaciales) con la existencia del éter como medio por el que interactúan los cuerpos. Realiza cálculos complejos para dar una ecuación que proporcione la tensión del éter en función de la constante de gravitación. En definitiva, es otro ejemplo de científico (en este caso ingeniero) que, aun aceptando muchas de las conclusiones de la relatividad, sigue fiel a la física del éter, aunque intentando compatibilizarla con la relatividad general. Sorprende que ya en 1934 se publicara en los *Anales* este tipo de artículos.

Con gran acierto Herrera plantea que, suponiendo la tierra aislada visualmente del exterior, se puede deducir la rotación de la misma por la falta de simetría en el movimiento de los cuerpos sobre su superficie, asimetría que se constata por la predilección de los cuerpos hacia el lado izquierdo. Esto es el efecto “geostrófico” que explica los ciclones o el péndulo de Foucault. En definitiva el campo en la superficie terrestre es rotacional. Si se extiende este fenómeno al campo en el espacio de tres dimensiones en el que está inmerso la Tierra, se comprueba otra asimetría: el campo magnético producido por una corriente eléctrica es contrario a las leyes del electromagnetismo, ya que el movimiento de los electrones crea un fenómeno de circulación, que es lo que caracteriza un tórsor. En sus propias palabras

El campo del espacio físico de tres dimensiones es un campo “torsorial” de intensidad y sentido constante para cualquier dirección y cualquier punto en todo el universo conocido. Nuestro observador deducirá inmediatamente de este hecho que el espacio físico tridimensional está animado de un movimiento de rotación, fenómeno que entra de lleno en la mecánica de cuatro dimensiones.<sup>47</sup>

En mi opinión se ve que con este planteamiento, sin duda original, persiste la interpretación mecanicista del electromagnetismo, ya superada entre la mayoría de los físicos a principios del siglo XX.

Con esta justificación, realiza Herrera un interesante trabajo de extender a la geometría de cuatro dimensiones la euclídea de dos y tres dimensiones. De esta forma un espacio se representa por una ecuación de primer grado de las cuatro coordenadas,  $f(x_1, x_2, x_3, x_4)=0$ , una hipersuperficie se representa por  $f_n(x_1, x_2, x_3, x_4)=0$ . En este caso, por ejemplo, el equivalente al área de una superficie esférica de tres dimensiones (dada por  $4\pi r^2$ ) es el volumen de la hipersuperficie esférica (dado por  $2\pi^2 r^3$ ). Si en un espacio de tres dimensiones los ejes de giro son rectas, en uno de cuatro dimensiones son planos, etc. Desarrollando matemáticamente el problema de la

<sup>45</sup> La serie de escritos sobre este debate son Herrera, “Una paradoja relativista” *Madrid Científico*, nº 1083, 1923, p 35; Lucini, “Sobre una paradoja relativista”, *Madrid Científico*, nº 1084, 1923, p 35; Burgaleta, “Una paradoja relativista” *Madrid Científico*, nº 1085, 1923, p 66 y 67.

<sup>46</sup> E.Herrera “El Universo y la hiperdinámica”, *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, 1934, v 32, p 109-127.

<sup>47</sup> E.Herrera “El Universo y la hiperdinámica”, *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, 1934, v 32, p 111.

rotación de un espacio dentro de la extensión de cuatro dimensiones, concluye que cuando un móvil pasa de un punto a otro en la hipersuperficie, su contorno gira alrededor de su trayectoria con movimiento determinado por un torsor constante en magnitud y signo. La hipersuperficie esférica constituye un campo torsorial uniforme. De esta forma se puede recuperar la idea del éter, ya que

El éter es el medio por el cual llegan a nosotros las acciones de los cuerpos que nos rodean revelándonos su existencia, por lo cual somos incapaces de percibir ninguna acción procedente de fuera del espacio ocupado por el éter que, aparentemente para nosotros, constituye todo el espacio físico. Nuestro sentidos nos revelan que posee una cierta elasticidad correspondiente a su velocidad de vibración  $c$ , y que es tridimensional, o sea que constituye una hipersuperficie, y si ha de estar en rotación, como se deduce por la asimetría de los fenómenos electromagnéticos y por analogía con todos los demás cuerpos y conjuntos de ellos que forman el universo, la forma del espacio ocupado por el éter será la de su posición de equilibrio, o sea de una hipersuperficie esférica elástica y en doble rotación homogénea.<sup>48</sup>

Al analizar los efectos dinámicos que produce la rotación en la hipersuperficie esférica elástica, calcula Herrera (eso sí, usando de antemano la ley de gravitación newtoniana) la deformación de la hipersuperficie, deformación que surge por la tendencia que tiene una masa a girar que, a su vez, crea un campo de tensiones en el éter que la rodea:

La tendencia a esta orientación, determinada por la acción giroscópica en la dinámica de cuatro dimensiones, ha de estar contrarrestada por tensiones transversales a la hipersuperficie elástica que producirán en ella deformaciones de torsión que se traducirán en repulsiones o atracciones a las otras masas en movimiento torsorial próximas a ellas según sean iguales u opuestos los sentidos de ambos torsores. Todos estos fenómenos tienen su existencia comprobada en nuestro universo físico demostrando su movimiento de rotación; la fuerza centrífuga crearía la deformación transversal del espacio, originando la aparente atracción entre todos los cuerpos, y la desviación de las líneas geodésicas del espacio y de la dirección del rayo luminoso al atravesar un campo gravitatorio; el efecto geostrófico sería la causa del campo magnético originado por el paso de la corriente eléctrica y del magnetismo terrestre y el efecto giroscópico produciría las atracciones y repulsiones electrostáticas.<sup>49</sup>

Obtiene así la ecuación que nos da la tensión del éter en función del coeficiente de gravitación  $G$ , radio  $r$  y velocidad angular del Universo  $w$ ,  $T = \omega^4 r^2 / 4\pi G$ , que en función de la densidad másica del éter es  $\delta \omega^2 r^2 / 3$ . Años más tarde, también Julio Palacios plantearía la curvatura del espacio por la presencia de masa como una curvatura o torsión del éter, aunque a diferencia de Herrera, Palacios obtendría una expresión del coeficiente de curvatura del éter igual a la de la curvatura einsteniana. Además,

<sup>48</sup> *Ibidem*, p. 117.

<sup>49</sup> *Ibidem*, pág 120 y 121.

Herrera plantea la ecuación de la relación entre la densidad másica del éter y la energía con respecto a la velocidad de la luz de la forma  $c^2 = E/\delta$ . Lo plantea así, sin más, sin indicar si lo obtiene de Einstein o no. Herrera explica también la expansión del Universo por el desequilibrio entre las fuerzas de inercia y las elásticas del éter, dada por su coeficiente de elasticidad:

Según la hipótesis expuesta, todas las fuerzas físicas se reducen a una: la de inercia. Todos los fenómenos físicos quedarían comprendidos en la dinámica, pero para ello es necesario admitir la existencia de otra fuerza que rompería la unidad a que se ha llegado, y es la cohesión entre los elementos que constituyen el éter fluido, elástico y flexible que forma el espacio.

Para suponer que esta cohesión es también una fuerza de inercia, una componente de una fuerza centrífuga, es necesario admitir que todo el éter, o sea el conjunto de la hipersuperficie cerrada que constituye nuestro universo, no es más que un elemento material situado en otro éter que forma un hipervolumen elástico y cerrado, sometido a rotación dentro de la extensión de cinco dimensiones, y así sucesivamente cada universo sería un elemento de un universo de una dimensión más, todos en rotación, hasta llegar a la extensión de infinitas dimensiones, cuyas propiedades geométricas, según demuestra la geometría de  $n$  dimensiones, son iguales a las del punto o extensión de cero dimensiones, que constituirían el Universo Absoluto, infinitamente infinito en dimensiones y en extensión, en el que el éter que lo llena no necesita cohesión entre sus elementos porque estos no pueden separarse, puesto que no existe ningún espacio exterior.<sup>50</sup>

Obtiene Herrera una ecuación para la atracción gravitatoria de la forma  $Gmm'/(x^2-x)$ , que equivaldría a la de Newton para grandes distancias. Pero además extiende esta idea a las acciones interatómicas, obteniendo una expresión que indicaría la cohesión entre cada dos elementos del éter de masa  $m$ , de la forma

$$R = Gm^2 \left( \frac{1}{x^3} + \frac{1}{x^4} + \dots \right) = Gm^2 \left( \frac{1}{x^3 - x^2} \right)$$

El éter deberá, pues, comportarse como un material elástico cuando trabaja por extensión entre el punto  $a$  y el  $b$ , teniendo un módulo de elasticidad  $E$  igual a  $xdT/dx$  que disminuye rápidamente al acercarse al punto  $b$  de máxima resistencia. En este punto  $E$  se hace cero.<sup>51</sup>

Hay que reconocer la originalidad de la teoría de Herrera, pero por su carácter metodológico en el planteamiento no lo considero apropiado para haberse publicado en un medio especializado como los *Anales*. No plantea ningún tipo de comprobación experimental, parte de unas hipótesis arbitrarias en las que entremezcla herramientas físico-matemáticas según su conveniencia, sin una definición clara de postulados de

<sup>50</sup> *Ibidem*, pág 122 y 123.

<sup>51</sup> *Ibidem*, pág 125.



partida, tomando a veces supuestos de la física newtoniana y otras de la einsteniana, sin indicar además referencias.

En el artículo de 1934 de *Anales* dice que su teoría la presentó a la Academia de Ciencias en 1915 y que poco después apareció “la teoría relativista generalizada de Einstein” que según él, da cuenta de los mismos hechos que su teoría del hiperespacio, pero que en ésta no se necesita ni la relatividad del tiempo ni la destrucción del concepto de simultaneidad. Años más tarde, ya en el exilio, Herrera planteó que su modelo cosmológico era compatible con un universo mecánico cartesiano en varios escritos aparecidos en publicaciones francesas, sobre lo que volveremos en el apartado dedicado a los exiliados españoles, en el capítulo siguiente.

El otro caso interesante de propuesta innovadora fue sobre la constancia de la velocidad de la luz, presentada por Pérez del Pulgar en el congreso de la *Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias* celebrado en 1925. Pérez del Pulgar era licenciado en Ciencias Físicas y jesuita profesor del ICAI, siendo uno de los fundadores de esta influyente escuela de ingenieros.<sup>52</sup> El autor plantea el problema de la velocidad de una onda en su salida inmediata del foco emisor, problema para el que históricamente se han propuesto tres hipótesis, a la que hay que añadir una cuarta, la suya propia. Para mayor claridad, las sintetizo a continuación, (considerando siempre un foco emisor que se mueve respecto al observador):

- Primera hipótesis. La onda se propaga con una velocidad constante respecto al medio de propagación que es el éter, produciéndose un arrastre de dicho medio. Es la teoría clásica de Maxwell.
- Segunda hipótesis. La onda emisora participa de la velocidad de la fuente emisora, de tal forma que es constante respecto del foco pero el observador mide la suma de ambas velocidades. Es la teoría “balística” de la luz propuesta por Ritz.
- Tercera hipótesis. La onda se propaga con la misma velocidad respecto al observador y a la fuente emisora, sin considerar el medio de propagación. Es la solución relativista de Einstein.
- Pérez del Pulgar rechaza las tres anteriores, presentando la suya que consiste en que la onda en propagación lo hace con velocidad variable respecto tanto al foco como al observador, de tal forma que esta variación dura un tiempo más o menos largo de régimen variable hasta llegar de forma asintótica al valor  $c$ . También se considera un medio preexistente, de tal forma que en cada punto de ese medio en el que se propaga la onda se produce un campo que produce una tensión o deformación elástica, con lo que en vez de haber arrastre del medio, hay arrastre del campo.

Pérez del Pulgar reconoce que deberá ser la experiencia la que confirma la validez de esta hipótesis. Partiendo de las ecuaciones de Maxwell, obtiene la ecuación de propagación para el caso en que el campo participa del movimiento del foco. Con las ecuaciones obtenidas concluye que, aunque inicialmente la velocidad de propagación

medida por el observador debe variar, para un tiempo suficientemente largo esta velocidad se iguala a la que se hubiera medido si el foco no tuviera movimiento, es decir sería constante e igual a  $c$ .

En medidas observacionales considera que si fuera correcto alguno de los modelos correspondientes a las dos primeras hipótesis, se deberían ver, en algunos casos, dos imágenes simultáneas de un astro. Estas imágenes serían las correspondientes a los dos extremos del diámetro de su órbita, en una el foco se aleja y después en otra el foco se acerca (pero se emite después la luz) y la suma o resta de velocidades por arrastre del éter compensarían las diferencias de tiempo de emisión y haría que en algún caso los rayos de un mismo cuerpo en órbita en dos posiciones (primero alejándose y luego acercándose al observador) llegarían al mismo tiempo.

En cambio, con su hipótesis, aunque no se deberían ver dos imágenes diferentes simultáneas, se debe observar un cambio de intensidad de tal forma que el brillo de una estrella presente irregularidad. Pérez del Pulgar reconoce lo problemático de esta prueba, además de que el fenómeno se pueda deber a otras causas, ya que

Las dificultades de una determinación fotométrica crecen considerablemente y aunque a veces la observación baste a comprobar la variabilidad, es cada vez más difícil determinar la ley de esta variabilidad y hacer el estudio completo de ella.<sup>53</sup>

### 3.6.2. EL DEBATE ASOCIADO A LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Volvamos a unos años antes para analizar un aspecto importante en el debate, como es el tratamiento que se dio a las pruebas experimentales, tanto por los antirrelativistas como por los partidarios de la teoría einsteniana, que produjo un cierto nivel de controversia científica, en el que participó de forma destacada Plans. En general los antirrelativistas se basaban en el carácter dudoso de los resultados experimentales, bien por errores de interpretación, bien porque todavía no se consideraban definitivos, incidiendo sobre todo en el caso del corrimiento del espectro solar que realmente era el más complicado de confirmar.

Blas Cabrera resumió los argumentos de los antirrelativistas en dos tipos (no sólo de España, sino en general de toda la comunidad científica internacional): los asociados a posibles errores de interpretación en los resultados experimentales y los que proponían teorías alternativas que se podían considerar como “semirrelativistas”<sup>54</sup>. En todo sus textos Cabrera insistió mucho en la base experimental de la relatividad. Por ejemplo en Otoño de 1921 dio una serie de conferencias en la Universidad de Madrid, en donde analizó las pruebas experimentales, tanto de la teoría general como de la

---

<sup>52</sup> Pérez del Pulgar, “Teoría de la propagación de las ondas electromagnéticas en los medios en movimiento. Sesión del 16 de Junio de 1925”, *Actas Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias, décimo congreso celebrado en Coimbra*, t. V, sección ciencias físico-químicas, Madrid, 1926, p.43-75.

<sup>53</sup> *Ibidem*, p. 64.

<sup>54</sup> Cabrera, *Principio de relatividad*, 1923, edición de Amigos de la cultura científica, 1999, p 32-34.

especial. La parte de comprobación de la relatividad especial se refiere a las investigaciones de Sommerfeld, según las cuales, del análisis de la estructura de las líneas espectrales del hidrógeno se deducía un incremento relativista de la masa del electrón. Vimos en el apartado dedicado específicamente a Blas Cabrera que el físico español dedicó algunos textos a criticar a los antirrelativistas, especialmente en la interpretación de pruebas experimentales, por lo que remitimos a lo anteriormente indicado.

Sobre este debate acerca de las pruebas experimentales, un ejemplo destacado es el de los ingenieros Pérez del Pulgar y Emilio Herrera, que intentaron hacer compatibles algunos postulados de la relatividad con aspectos intuitivos propios de la física newtoniana, que se resistían a abandonar. En definitiva no se atacaba la teoría en sus fundamentos teóricos para sugerir una alternativa basada en el rigor teórico y matemático, sino que intentaban desarrollar nuevas observaciones esperando resultados que ratificaran sus ideas.

Durante los años 20 hubo varios experimentos, ninguno en España, para intentar demostrar el arrastre del éter y la conclusión es que ninguno de ellos logró poner en cuestión los principios de la relatividad. Uno de los experimentos fue realizado por Sagnac con una variante del interferómetro de Michelson, haciéndolo giratorio y en el que se apreciaban cambios en las franjas de interferencia que se interpretaban como ejemplo de la existencia del éter. Comas expuso este experimento pero reinterpretando los resultados como contrarios al éter y favorables a su teoría emisiva. Pero Comas no citó la interpretación de Langevin que era compatible con la relatividad<sup>55</sup>.

Otro experimento que citó Comas fue el de Michelson y Gale para comprobar el principio de equivalencia de las masas inercial y gravitatoria, que también se usó para comprobar el efecto de la rotación de la Tierra en la velocidad de la luz. Pero de estos experimentos en la comunidad científica no trascendió ningún resultado contrario a la relatividad, por mucho que Comas intentara lo contrario. Desde luego Comas no trató ninguno de estos resultados con el rigor que, por ejemplo, hizo Pedro Carrasco respecto del eclipse de 1919 en el que mostraba su prudencia en la interpretación.

Hemos visto que en 1918 Catalán hizo algunas reseñas importantes sobre experimentos asociados a principios relativistas, aparecidas en los *Anales de Física*.<sup>56</sup> Son muy valiosas porque relacionaban el dominio que tenía en la espectroscopia con la relatividad, tratando en todas ellas el aspecto experimental sobre la comprobación de la relatividad. En estas reseñas Catalán intenta apoyar la base experimental de la relatividad en aspectos clave, como la constancia de la velocidad de la luz y el desplazamiento de las rayas espectrales. En un artículo que reseñó sobre un experimento basado en el corrimiento espectral, con resultados contrarios a la

---

<sup>55</sup> Es importante aclarar que en experimentos con interferómetros modificados respecto al de Michelson puede haber corrimiento de las franjas de interferencia por múltiples causas y éste parece ser que fue el análisis realizado por Langevin.

<sup>56</sup> Catalán no figura en ningún texto como receptor de la relatividad. En cambio en este trabajo establecemos que sí lo fue por su contribución en los *Anales Sociedad Española de Física y Química*.

relatividad, Catalán se apresuró a explicar que eran experimentos muy delicados en los que era imprudente extraer conclusiones.

Pero el caso más interesante de tratamiento de resultados experimentales fue el de la serie de experimentos de Miller, que fue analizado por Plans y Enrique de Rafael en la revista de divulgación *Ibérica*. Miller y Morley realizaron experimentos en 1905 y posteriormente, sólo Miller, en 1921 y 1925 en el observatorio del Monte Wilson. Estos experimentos dieron resultados que favorecían la hipótesis de un arrastre parcial del éter por la Tierra y cuyo efecto disminuía con la altitud. Muchos autores utilizaron estos resultados para ratificar su tesis. Por ejemplo, Pérez del Pulgar, que no aceptaba el postulado de la constancia de  $c$ , afirmaba:

Es sabido que, posteriormente a los éxitos de Einstein y aun a la presentación de esta nota, Miller ha encontrado un pequeño arrastre, no bastante para la antigua hipótesis del “viento del éter”, pero más que sobrado para hacer imposible el concepto einsteniano de la constancia de  $c$ . La desorientación que ha producido este hecho ha sido tal, que se ha hecho sobre este asunto desde hace dos años un silencio casi absoluto. Creo que el experimento de Miller es compatible con la teoría expuesta en esta nota, y lo que no se puede dudar es que es incompatible con el concepto de propagación de la luz en la relatividad restringida.<sup>57</sup>

Aunque los antirrelativistas creían confirmadas sus tesis, para Plans las causas de estos resultados estaban en la influencia de la temperatura que perturbaba las medidas. Esta interpretación de Plans fue corroborada más tarde por Shankland y aceptada por la comunidad científica. Además se hicieron otros experimentos por parte de Trouton y Noble similares a los de Miller pero con cargas eléctricas en vez de rayos de luz y dieron resultados favorables a la relatividad. Enrique de Rafael también comentó los resultados de los experimentos defendiendo la interpretación de Plans pero de forma más categórica, al criticar a los antirrelativistas por su falta de criterio sólido respecto a la interpretación experimental, como vimos anteriormente en su artículo “Sobre la influencia del índice de refracción en el corrimiento de las rayas previsto en el experimento de Michelson” (*Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, 1922).

Plans entró de lleno en el debate sobre la relatividad con tres artículos en la revista *Ibérica*. En el primero, “Algunas ideas sobre relatividad” (*Revista Ibérica*, 1920), un artículo de divulgación sin tratamiento matemático en el que se exponen los conceptos básicos de la relatividad, se hace eco de la actualidad que está tomando el asunto con polémicas en los organismos científicos, publicaciones de libros e incluso en periódicos. La exposición es clarificadora sobre los conceptos fundamentales de la relatividad, y la defensa de la misma basándose en las comprobaciones experimentales.

Hasta 1927 no volvió a insistir en el tema con los escritos “El experimento de Miller y la teoría de la relatividad” y “Nuevas repeticiones del experimento de Michelson” (*Ibérica*, 1927). El primer artículo trata sobre la repetición del experimento de Michelson y Morley por parte del mismo Morley y Miller en 1905, con un interferómetro

---

<sup>57</sup> Pérez del Pulgar, “Teoría de la propagación de las ondas electromagnéticas en los medios en movimiento.”, *AEPC, décimo congreso Coimbra*, t. V, sección c. físico-químicas, Madrid, 1926, p. 59.

mejorado. Como daban resultados inciertos de los que parecía suponerse un ligero arrastre del éter, decidieron repetirlo en 1921. Trabajaron cuatro años hasta que en 1925 comunicaron unos resultados que parecían contradecir la relatividad. Estos experimentos están detalladamente descritos en el artículo. Pero a continuación Plans destaca que la relatividad no se basó sólo en el experimento de Michelson sino también en otros como el de Trouton y Noble que se repitió recientemente, en otoño de 1925, y confirmaba la relatividad. Explica detalladamente dicho experimento en vez de con rayos luminosos con descargas eléctricas.

El siguiente artículo de Plans es un resumen de uno anterior de Einstein y que posteriormente aparecería en una nueva revista de divulgación española. Evidentemente, Plans conocía de antemano el escrito de Einstein que se publicó previamente en Alemania. Este trabajo del sabio alemán apareció en nuestro país en el número de Abril de 1927 de la revista *Investigación y Progreso* y se tituló “Nuevos experimentos sobre la influencia del movimiento terrestre en la velocidad de la luz con relación a la Tierra”.

En este artículo Einstein detalla el experimento de Miller que parece contrario a su teoría. Pero da información actualizada sobre el asunto informando que un examen cuidadoso de los resultados de Miller parecen indicar perturbaciones en las medidas por influencia de la temperatura del aire. Para corregir esta posible deficiencia el científico californiano Kennedy realizó otro experimento similar que repitió en el observatorio del Monte Wilson y dio resultados favorables a la relatividad. También hubo otros experimentos, como los realizados por Piccard y Stahel en Bruselas, con resultados también contrarios a los de Miller. Einstein se refiere a los experimentos de Miller como meritorios entre otros motivos porque han dado ocasión de realizar una cuidadosa revisión que confirmaba los resultados de Michelson.

## **4. EL TRATAMIENTO DE LA RELATIVIDAD EN LA CIENCIA ESPAÑOLA DE 1939 A 1969**

### **4.1. EL CONTEXTO DE LA CIENCIA ESPAÑOLA DE LA ÉPOCA.**

Mi intención en este apartado, más que analizar en detalle la situación de la ciencia española de la postguerra y los años 60, sobre la que hay abundante bibliografía<sup>1</sup>, es realizar un repaso de los aspectos más relevantes que tuvieron relación, directa o indirectamente, con el tratamiento de la relatividad en esos años<sup>2</sup>. Evidentemente, como ciencia española tenemos también que contemplar la de tantos profesionales en el exilio, muchos de los cuales ejercieron una brillante carrera en sus países de acogida y algunos, o bien trabajaron sobre relatividad o bien la trataron a nivel divulgativo. Igualmente cabe contemplar el caso de jóvenes licenciados en física por la Universidad de Barcelona, que sin ser exiliados, ejercieron su labor investigadora en Francia, gracias a una política generosa de becas del país vecino. Posteriormente, la mayoría regresaron a nuestro país, y tuvieron un papel determinante en la creación, ya sí en España, de un grupo específico de especialistas en relatividad en los años setenta. Me refiero especialmente a Lluís Bel y Lluís Mas.

En la introducción ya se ha explicado el motivo por el que este período se considera hasta 1969 y no hasta la muerte de Franco. Básicamente recordemos que la creación del GIFT (*Grupo Interuniversitario de Física Teórica*) en 1968 iniciaría un paulatino desarrollo de la física teórica en España, que incluiría el comienzo de la labor investigadora en relatividad a partir de 1971, gracias principalmente a la estancia de Lluís Bel en la Universidad Autónoma de Madrid en los cursos 1971-72 y 1972-73. Además, la influencia de Palacios como cabeza visible de la física española va mermándose progresivamente desde mediados de los años sesenta. Otro factor es el mayor peso en la investigación por parte de las universidades frente al CSIC, situación que también iría cambiando paulatinamente desde finales de la misma década.

En lo que concierne al desarrollo histórico de la relatividad a escala internacional, y la percepción que de dicho desarrollo se tuvo en España, es conveniente resaltar que hasta 1960 no resurgió, en la comunidad científica internacional, el campo de la relatividad general en cuanto a intentos sofisticados de comprobación experimental, tanto para verificar de forma más precisa las predicciones originarias de la teoría, ya realizadas anteriormente pero con medios menos sofisticados, como para plantear nuevas predicciones con posibilidad de verificación. De hecho, hasta 1955 no se

---

<sup>1</sup> Sánchez Ron, *Cinzel, Martillo y Piedra, Historia de la ciencia en España (siglos XIX y XX)*, Taurus, Madrid, 1999 (En concreto capítulos 10, 11 y 12); Sánchez Ron, "La física en España(IV): la era franquista", *Revista española de física*, Julio-Agosto 2003, p 7-13; VVAA, *50 años de investigación en Física y Química en el edificio Rockefeller de Madrid, 1932-1982*, CSIC, Madrid, 1982; Ricardo Montoro, *La Universidad en la España de Franco (1939-1970)*, Centro de Investigaciones sociológicas, Madrid, 1981; Luis Sanz Menéndez, *Estado, ciencia y tecnologías en España: 1939-1997*, Alianza Editorial, Madrid, 1997.

organizó la primera conferencia internacional sobre relatividad general y gravitación, conocida como GR0 y que se realizó principalmente en homenaje a Einstein. El primer congreso propiamente dicho es de 1957, celebrándose ya de forma periódica cada dos o tres años según los casos.

En cuanto a la relatividad especial, por esos años se consideraba totalmente aceptada e integrada en la física moderna como componente básico en la imagen de la estructura y núcleo atómicos, las partículas elementales y, en definitiva, en el mundo de lo microscópico. Evidentemente, asociado con estos temas está el establecimiento de la electrodinámica cuántica y la moderna teoría cuántica de campos. De hecho, como veremos, en España todos los trabajos de investigación sobre estos temas asumían implícitamente (sin necesidad de defenderla expresamente) la validez de la relatividad especial, como veremos en el apartado 4.3.4 *Física cuántica y relatividad*. Otro aspecto significativo es que los tratados sobre física cuántica escritos por profesores españoles incluían casi siempre una parte sobre relatividad.

El resurgimiento internacional por el interés en la relatividad general se dio a partir de 1960 gracias a las facilidades tecnológicas ofrecidas por el uso de relojes atómicos, el desarrollo espectacular de la radioastronomía (incluyendo la radiointerferometría), así como el descubrimiento de los cuásares<sup>3</sup> en 1960, el de las lentes gravitatorias<sup>4</sup>, la radiación de fondo cósmica, los púlsares en 1968<sup>5</sup> y, posteriormente, los agujeros negros. El descubrimiento de los cuásares, que se asociaba con una enorme concentración de masa confinada en una región relativamente pequeña y se consideraba sólo explicable con la relatividad general, dio lugar en 1963, mediante un simposio, a una nueva disciplina, la Astrofísica Relativista. Además, el desarrollo tecnológico permitió experimentos de alta precisión anteriormente inimaginables, gracias a tecnologías basadas en la física cuántica, como los semiconductores, el laser y maser, el tratamiento de datos informáticos, la superconductividad, etc. Por ejemplo, en la década de los 60 se repitió con éxito el experimento de Eötvös para medir la equivalencia entre masa inercial y gravitatoria. Se produjo, gracias a los trabajos de Pound y Rebka, la primera ratificación experimental considerada fiable y en laboratorio del corrimiento del espectro de la luz al “caer” en un campo

---

<sup>2</sup> También existe Bibliografía más detallada sobre aspectos directamente relacionados con nuestro tema, Alfons Carpio, *Ciència i política exterior francesa a l'Espanya de Franco: el cas dels físics catalans*, Centre d'Estudis d'Historia de les Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona, 2004; Gámez Pérez, Carlos, *El Grupo Interuniversitario de Física Teórica (GIFT): Génesis y desarrollo histórico (1958-1976)*, CEHIC, Universidad Autónoma de Barcelona, 2004.

<sup>3</sup> El término *cuásar* viene de *cuasiestelar* y se refiere al núcleo altamente energético y masivo de una galaxia, que al principio sólo se detectaron por sus emisiones de radio, denominándose radiofuentes cuasiestelares. Tienen una apariencia estelar muy débil pero emiten una gran radiación no térmica, con un fuerte desplazamiento del espectro hacia el rojo. Posteriormente también se han detectado cuásares visibles ópticamente.

<sup>4</sup> El efecto de ampliación del brillo o incluso de duplicación de la imagen de objetos muy lejanos, por la acción de la curvatura de la luz debida a un objeto masivo intermedio, que también puede ser una galaxia.

<sup>5</sup> El término *pulsar* viene de la contracción de “pulsating radio source”, se refiere a objetos que emiten haces de radioondas intermitentes (impulsos sucesivos regulares) y se identifican con estrellas de neutrones en rotación. Se detectaron por primera vez en 1968.

gravitacional<sup>6</sup>. Sobre casi todos estos fenómenos, aunque no se investigara en España, sí se dio cumplida cuenta de los avances en las revistas científicas, lo que trataré más adelante en los apartados correspondientes. Especialmente la radioastronomía tuvo un eco generalizado en los medios especializados españoles.

También en estos mismos años se debe a Penrose una importante aportación teórica: la resolución de las ecuaciones de campo de la relatividad general para algunos casos particulares, mediante un formalismo compacto que facilitaba la resolución matemática de dichas ecuaciones. Igualmente, en el mundo científico anglosajón, surgieron físicos teóricos que se dedicaron a la relatividad general, nuevos como Penrose, Thorne, Stephen Hawking, James Hartle, Igor Novikov, James Barden y antiguos que se reincorporaron a líneas de investigación en relatividad general, como John Wheeler, Chandrasekhar, Alfred Schil, Yaakov Zeldovich. En Francia destacaron Lichnerowicz y Lluís Bel.

Otro hecho importante, en 1959, fue la formulación de la teoría de gravitación de Brans-Dicke, alternativa a la de Einstein. De todas las alternativas, la que tuvo más solidez como viable fue ésta, ya que conservaba muchos elementos de la relatividad y a mediados de los 60 se tomó más en serio cuando algunos hechos experimentales parecieron refutar la teoría de Einstein. Volveremos sobre este asunto cuando analicemos el breve tratamiento que hubo en España sobre esta teoría alternativa.

Un ejemplo interesante que refleja la situación de escaso interés por la relatividad general antes de los años 60, es la encuesta que en 1953 el presidente de la ANFE (Asociación Nacional de Físicos de España) hizo a varios físicos relevantes de la época, (y que se vio reflejada en *Physicalia*<sup>7</sup>). La ANFE, de la que era presidente en esos años Leonardo Villena, creada en los años 50, fue el antecedente del Colegio Oficial de Físicos, nacido en Diciembre de 1976. Las funciones del ANFE eran las similares a las de un Colegio Oficial, aunque bastante más limitadas por las circunstancias de la época. Disponían de un boletín de información, *Physicalia*, bastante modesto en el que se incluían algunos artículos divulgativos y relativos a la industria relacionada con el mundo de la Física.

La encuesta contenía las dos siguientes preguntas:

-¿Qué avance considera Ud. más importante en el campo de la Física durante estos últimos diez años?

-¿Qué persona o equipo cree Ud. que ha contribuido más eficazmente al desarrollo de esta disciplina?

Se preguntó a Samuel Allison, Brian O'Brien, Otto Han, W. Heisenberg, y otros once más. A la primera cuestión, la mayoría contestó que los principales avances se dieron en física nuclear, fisión y descubrimiento de mesones pi. Sólo Heisenberg contesta

---

<sup>6</sup> Se puede seguir en detalle toda esta relación de comprobaciones experimentales en Clifford Will, *Theory and experiment in gravitational physics*, Cambridge University Press, 1981. Una versión más reducida y de carácter divulgativo del mismo autor es *Was Einstein right?*, 1986 (edición en español *¿Tenía razón Einstein?*, Gedisa, Barcelona, 1989).

<sup>7</sup> Leonardo Villena, "La física vista por los físicos", *Physicalia*, N° 9, Enero-Febrero 1953, p 2-16.



que la electrodinámica cuántica y otros dos encuestados sobre el descubrimiento de los rayos cósmicos. En definitiva, ninguno contesta sobre asuntos directamente relacionados con relatividad, aunque ciertamente sí lo estaban de forma indirecta con la teoría restringida.

Para situar el contexto de la ciencia española desde 1939 a 1969, repasemos brevemente los principales hitos de la correspondiente historia. Es de sobra conocido el impacto que tuvo la Guerra Civil y la posterior represión de los vencedores en la destrucción de lo que supuso el florecimiento de la ciencia española en los años veinte, y que siguió desarrollándose con la II República hasta el inicio de la Guerra. El férreo control ideológico sobre todas las instituciones del estado, la impregnación del “nacionalcatolicismo” en los diferentes estamentos sociales, y, en definitiva, la depuración sin precedentes en la comunidad educativa y gran parte de la científica, afectó también de manera determinante a la física y matemática españolas.<sup>8</sup>

Por ejemplo, las sociedades científicas como la *Sociedad Española de Física y Química* y la *Sociedad Matemática Española* estaban en un momento excelente antes de la guerra y el cambio de régimen les afectó de forma determinante, tanto a nivel institucional (por depuraciones en sus miembros dirigentes) como en la labor de investigación. De hecho, parte de la causa del buen estado anterior de dichas sociedades es la prácticamente nula injerencia gubernamental en su gestión, incluso en la dictadura de Primo de Rivera. El hecho de que las sociedades científicas fueran de carácter privado, aunque con ayuda institucional, hizo que, aun con las depuraciones, pudieran continuar su labor en la dictadura, (añadiéndoles el prefijo de “Real” que fue eliminado en la República), al contrario de lo ocurrido con la JAE, de naturaleza estatal, que fue sustituida por el CSIC.

Al acabar la Guerra Civil se asignó a Julio Palacios como responsable de la reorganización de la *Real Soc. Española de Física y Química*,<sup>9</sup> pero en esta reorganización se produjo una intensa dirección gubernamental, nombrándose como presidente a Luis Bermejo, y vicepresidentes a Rius y Palacios. Este último se mostró contrario a la depuración de miembros de la sociedad, lo que unido a su posterior significación en apoyo de Juan de Borbón le produjo dificultades con el régimen.

La publicación de los *Anales* se reanudó en Mayo de 1940, año en el que se remodela la dirección, en la que ya no está Palacios, siendo Bermejo presidente, y García-Siñeriz vicepresidente. Como vocales estaban Sellés, Foz, Onrubia, González Barredo, Guijarro, Otero, Burriel, Biel y Torroja. Algunos de estos publicarían sobre relatividad como Foz, Jesús Biel y José María Torroja, como veremos.

Sabemos que el momento de esplendor de la física española en el primer tercio del S. XX tuvo como culminación la creación en 1932 del *Instituto Nacional de Física y Química* bajo los auspicios de la *Fundación Rockefeller*, con una infraestructura que

---

<sup>8</sup> Para más información, véase Otero Carvajal, dir; *La destrucción de la ciencia en España. Depuración universitaria en el franquismo*, Editorial Complutense, Madrid, 2006.

<sup>9</sup> La reanudación de las actividades y los procesos de depuración vienen detallados en Varela Candel y López Fernández, *La Física en España a través de los anales de la Sociedad Española de Física y Química, 1903-1965*, Universidad de Murcia, 2001, p. 193 a 203. La información anterior la he obtenido de esta obra.

permitía ofrecer unas grandes expectativas en la labor investigadora, con un salto cualitativo suficiente para equiparar a España con el resto de países de su entorno en cuanto a producción científica. Como esta labor estaba dirigida por Blas Cabrera, aunque ya no se encontraba en el momento de esplendor individual, pero sí mantenía el prestigio para una labor de dirección así como importantes contactos internacionales, su exilio implicó un factor fundamental en el declive de la Física en nuestro país al principio de la dictadura. También la depuración de Catalán, el exilio de Duperier, Moles, Doporto, Martínez-Risco, etc, fueron determinantes en este sentido. Los únicos miembros de prestigio que pudieron ejercer su profesión en España, por su alineamiento ideológico con el nuevo régimen, fueron Terradas y Palacios. Realmente el único enlace de la física española de antes y después de la guerra fue Palacios junto con su discípulo Luis Bru.

El sectarismo fue tan radical que incluso no se tuvo en cuenta cuestiones pragmáticas a la hora de valorar contribuciones de científicos, al contrario de lo sucedido en otros países. Por ejemplo, en una de las actas de la *Soc. Esp. Física y Quím.* se afirma “Se acuerda que funcione el Comité de Redacción para la admisión de trabajos tanto en su parte científica como en la solvencia ideológica del autor”.<sup>10</sup> En este sentido se sospechaba del que hubiera publicado en los “Anales rojos”<sup>11</sup>. Entre las influencias extracientíficas en la *Soc. Esp. Física y Quím.* no sólo se dieron las ideológicas sino también las religiosas. En cuanto a las ideológicas implicaron la reorientación en las investigaciones que se asociaban con aspectos de interés para el estado, especialmente en asuntos de defensa. En lo relativo a la relación ciencia-religión es significativa la actitud mantenida por la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, de marcado carácter conservador, donde se postuló la prohibición de trabajos científicos no compatibles con el dogma católico. Además, se planteó que tenía que haber una absoluta interdependencia entre ciencia y religión, incluso se llegaron a publicar en los *Anales* artículos que rescataban ciertas interpretaciones de dudosa validez científica en aras a defender las posturas eclesiásticas al respecto<sup>12</sup>. Estas influencias implicarían variedad de declaraciones de marcado confesionalismo y adhesión al régimen.

De todas formas, en las sociedades *Soc. Esp. Física y Quím.* y *Soc. Matem. Esp.* hubo una cierta continuidad a nivel de relaciones institucionales internas, por ejemplo de la misma forma en que antes colaboraron con la JAE, ahora lo hacían con el CSIC, de hecho las revistas de ambas sociedades se publicaban con el auspicio de institutos dependientes del CSIC, como el *Jorge Juan* de matemáticas, el *Alonso Santa Cruz* de física o el *Daza de Valdes* de óptica. Además muchos de los miembros de las sociedades desarrollaron su labor profesional en el CSIC y la influencia de los profesionales universitarios no se notaría en la labor investigadora hasta los años 60.

En resumen, desde los años 40 hasta principios de los 60 dos características marcan a ambas sociedades, el alineamiento ideológico con el régimen franquista y la

---

<sup>10</sup> Acta reunión Junta Directiva de 27-XI-1939 de la *Soc. Esp. Física y Quím.*, según indicación tomada de Varela, 2001, pag. 209.

<sup>11</sup> (*sic*).

<sup>12</sup> Varela, *op. cit.* p 218-222.

dependencia del CSIC. Esto también afectó a la orientación internacional de la ciencia española, que en los primeros años de postguerra se decantó claramente por la influencia de Alemania e Italia, para a mediados de los cuarenta orientarse hacia la ciencia iberoamericana y posteriormente, ya en los años 50, hacia el ámbito anglo-americano. A pesar del decaimiento señalado de la ciencia española de postguerra, la labor del CSIC haría que poco a poco se fuera recuperando la labor investigadora, evidentemente influenciada por el comienzo de contactos institucionales con los Estados Unidos y países de Europa occidental, especialmente encaminados a desarrollar la técnica nuclear de la mano de la JEN (*Junta de Energía Nuclear*). Recordemos que España reestableció relaciones con Estados Unidos en 1953 y dos años después ingresó en la ONU. Por ejemplo España ingresó en el Consejo del CERN (*Conseil Européen de la Recherche Nucléaire*), empezando a visitar jóvenes científicos españoles sus instalaciones e iniciándose colaboraciones científicas con otros colegas extranjeros, a partir de los años 60, como se comprueba en muchos artículos de los *Anales R. Soc. Esp. Física y Quím.*

En Física, los *Anales* tuvieron hasta mediados de los 60 una notable representatividad en la producción investigadora española. En realidad, según Varela la Guerra Civil no afectó a nivel cuantitativo a la producción de artículos, pero sí hubo quiebra en cuanto a las personas que publicaron en ambos periodos, antes y después de la Guerra, ya que los físicos más significativos dejaron de publicar por exilio o depuración.

La importancia de la Universidad como productora de artículos, aunque empieza a mediados de los 60, no adquiere notoriedad hasta principios de los 70. También destaca la escasa incidencia de producción de instituciones extranjeras y la cada vez mayor influencia de la Junta de Energía Nuclear, así como el descubrimiento de yacimientos de uranio en España, también potenciado por la vuelta de Terradas, que se dedicaría a estas cuestiones relacionadas con la energía nuclear.

Hay una caída importante de producción en espectroscopia y electromagnetismo, en cambio aumentan el área de óptica y física nuclear y muy paulatinamente la de física teórica, que empezó a finales de los 50. La producción de astronomía se centra principalmente en los anuarios de los observatorios y en la revista de la sociedad astronómica, *Urania*.

En óptica física se realizaron algunos trabajos sobre métodos interferenciales, pero, sobre todo, predominó la parte de óptica geométrica e instrumental, habiéndose abandonado totalmente el prometedor desarrollo protagonizado por Martínez-Risco (también exiliado) en magneto-óptica, en medidas sobre velocidad de la luz y trabajos sobre interferometría. Afortunadamente Martínez-Risco pudo continuar su labor investigadora en Francia donde destacó por sus contribuciones en óptica relativista. Es más que probable que Martínez-Risco, de no haber tenido que exiliarse, hubiera podido desarrollar parte de esta labor en España. En cualquier caso, sus trabajos en Francia son producto de su excelente formación anterior en su país de origen. En mi opinión, el caso de Martínez-Risco es uno de los más importantes en la producción sobre relatividad de autores españoles, como trataré más adelante en el apartado 4.12 dedicado a los científicos españoles en el exilio.

En relación con la historia que aquí nos interesa, dos instituciones marcan el desarrollo de las ciencias físicas, el CSIC y la JEN, aunque ciertamente la proporción en investigación en el CSIC en el periodo 1940-1955 en física y matemáticas fue solamente del 2% para cada una de las disciplinas.<sup>13</sup> La otra institución importante en el ámbito de la física fue el INTA (*Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial*), pero sin implicaciones directas en nuestra historia sobre el tratamiento de la relatividad en España. Recordemos que el CSIC patrocinaba las sociedades de física y matemática, (como se comprueba en los créditos de sus respectivas revistas), de forma que los trabajos aparecidos en dichos medios hay que catalogarlos como propios del CSIC.

El sustituto del *Instituto Nacional de Física y Química* de la JAE se convirtió en el centro de *Química-Física "Gregorio Rocasolano"* dependiente del CSIC. La producción en física del CSIC se organizó en torno a una serie de institutos con sus correspondientes departamentos. Entre estos últimos cabe destacar los de óptica fisiológica, óptica técnica, el de espectros (incluyendo una sección de espectros atómicos), sección de rayos cósmicos, rayos X y magnetismo, electricidad, semiconductores (a partir de los años 60), etc. A partir de 1951, con la creación de la *JEN*, cuya fase previa fue dirigida por Terradas, y la entrada en funcionamiento real en 1958, no comenzó realmente en España la producción de trabajos de física nuclear, que supondría con el tiempo uno de los mayores puntos de interés en investigación en física. Este interés evolucionaría en el de la física teórica (especialmente mecánica cuántica) y física de altas energías hasta la creación en 1968 del GIFT. La física de altas energías tendría una importancia cada vez mayor en España con la entrada de nuestro país en el CERN. Este acontecimiento fue fundamental no sólo en el contacto de científicos españoles con colegas europeos,<sup>14</sup> sino también en la orientación de algunos físicos hacia la física teórica, de altas energías o de partículas, como son los casos, entre otros, de Alberto Galindo o Francisco Ynduráin.

Terradas fue desposeído en 1931 de su cátedra de Ecuaciones Diferenciales de la Universidad de Madrid, muy posiblemente por su vinculación con el régimen de Primo de Rivera, por lo que decidió instalarse en Argentina. Rey Pastor mantenía una estancia intermitente entre Argentina y España, pero con la Guerra decidió establecerse en aquel país. Con el fin de la Guerra Civil empezaron las complejas negociaciones con Terradas y Rey Pastor para su vuelta a España, de las que fue protagonista Julio Palacios. Terradas se afincó definitivamente en nuestro país en 1941 para dirigir el INTA, pero Rey Pastor siguió con sus estancias intermitentes entre España y Argentina.<sup>15</sup>

---

<sup>13</sup> Según información obtenida de Sánchez Ron, "La Física en España (IV): la era franquista", *Revista Española de Física*, Julio-Agosto 2003, p. 8.

<sup>14</sup> Hay en la bibliografía primaria múltiples referencias que reflejan estas colaboraciones, sirva como ejemplo la de Aguilar, "La física de los neutrinos", *Las Ciencias*, 1964, p 307-315, donde se realiza una breve descripción del trabajo de algunos españoles en el CERN de Suiza en cuestiones de detección de neutrinos.

<sup>15</sup> Se puede seguir este proceso en Roca, A. y Sánchez Ron, "La vuelta de Esteban Terradas a España (1940-1950)", *Llull*, v 6, p 105-142. Para el caso de Rey Pastor además véase García Camarero, "Los últimos años de Rey Pastor", *Actas del I Simposio sobre Julio Rey Pastor*, Instituto de Estudios Riojanos, Logroño, 1985, p 19-39. También González Redondo, "La reorganización de la Matemática en España. La posibilidad del retorno de Esteban Terradas y Julio Rey Pastor", *La Gaceta de la Soc. Mat. Esp.*, v 5.2, 2002, p. 463-490.

En 1963 Alberto Galindo ganó las oposiciones a catedrático de Física Matemática de Zaragoza y Pedro Pascual la equivalente de Valencia (donde comenzaron los estudios de física en el curso 1961-62). Galindo y Pascual decidieron conjuntamente desarrollar la física teórica en España, organizando el primer congreso español de esta disciplina y celebrado en Santander en 1965, que significaría en parte la génesis del GIFT. Los protagonistas de esta reunión eran los principales teóricos en la materia en nuestro país, lográndose además la participación de varios investigadores españoles que residían en Francia, como Lluís Bel, Alfonso Capella y Eduardo de Rafael. Este aspecto, en relación con el tratamiento de la relatividad, se trata en detalle en el apartado 4.5.<sup>16</sup> En definitiva, la creación del GIFT en 1968 marca un punto inflexión importante en el desarrollo de la física teórica en España.

De hecho, el que a principios de la década de los setenta surgieran grupos de investigación que alcanzaron un cierto prestigio internacional, es debido en gran parte a la labor previa del GIFT. Hemos visto que desde 1948 se empezó a desarrollar la física nuclear por decisión política, lo que implicó el posterior avance en física teórica, aunque dando prioridad a la nuclear, como parte de dicha disciplina. La energía nuclear fue clave fundamental en la creación del GIFT, de la mano inicialmente de la JEN, que propició los estudios en Física Teórica de Altas Energías.

Los dos primeros congresos que se realizan con organización del GIFT son la reunión anteriormente citada de 1965 y el *CERN School of Physics*, en El Escorial en 1968. El tercer congreso no se celebraría hasta 1972, lo que se tratará brevemente en el capítulo quinto.

Desde 1967, al crearse el cuerpo de Profesores Agregados de Universidad, adquirieron plaza Ramón Pascual de Sans en la Universidad de Madrid, Luis Joaquín Boya Balet en la de Valladolid, Fernández Rañada en la de Barcelona y Javier Sesma en la de Valencia.

Se constituyeron una serie de grupos coordinados por el GIFT, de los que saldrían varios doctores para formarse en el extranjero, volviendo posteriormente a las universidades españolas. En definitiva, la física teórica española, dirigida principalmente por Galindo y Pedro Pascual, modernizó las respectivas enseñanzas en España.

En Mayo de 1968 se organizó por el CERN un encuentro en El Escorial, bajo el nombre de *Escuela Intenacional de Física*, con presencia de 85 físicos de 14 países. De bastantes conferencias se encargaron físicos españoles, fundamentalmente dedicadas a la Física de Altas Energías. Durante el tiempo que duró este encuentro se dio el impulso definitivo a la creación del GIFT. Aunque el objetivo principal era coordinar los estudios y programas de doctorado de física teórica, así como dirigir la investigación en física nuclear y de altas energías, también promocionó la investigación en relatividad, lo que se hizo efectivo a principios de los años setenta, con bastantes trabajos subvencionados por el GIFT. Se acordó iniciar conferencias

---

<sup>16</sup> Para más información, véase Carlos Gámez Pérez, *El Grupo de Investigación de Física Teórica (GIFT). Génesis y desarrollo histórico (1968-1976)*; Trabajo de investigación dirigido por Xavier Roqué; Programa Interuniversitari de Doctorat d'Historia de les Ciències, Universidad Autónoma de Barcelona, 2004 (sobre la I reunión de física teórica, p. 51 y 52).

periódicas y anuales de física teórica, lo que supone un hito en la física española, especialmente por el carácter internacional de estos congresos.

Ya he comentado otro hecho fundamental en el posterior desarrollo de la relatividad en nuestro país: la estancia en Francia de varios de nuestros físicos en las décadas de los cincuenta y sesenta. A partir de 1950, el Instituto Francés de Barcelona va a favorecer el intercambio cultural entre España y Francia, especialmente en el terreno científico (a nivel más global ya se publicaba en Madrid el *Bulletin de L'Institut Français en Espagne*), organizando conferencias científicas de diversos científicos franceses en Madrid y Barcelona, principalmente sobre física atómica y nuclear. En definitiva, la intención de las autoridades francesas era promocionar la ciencia francesa en España mediante difusión de las investigaciones más relevantes llevadas a cabo por grupos franceses, especialmente del CNRS (*Centre National de Recherche Scientifique*, el equivalente al CSIC español). En concreto destacó la labor de Claude Colin que ejerció una gran influencia entre la comunidad de estudiantes de física de la Universidad de Barcelona. Colin fue el fundador de la Asociación Hispano-Francesa de Cooperación Técnica y Científica y promovió muchas de las conferencias científicas en España impartidas por franceses. Además, se responsabilizó personalmente de un curso de matemáticas para física teórica impartido en el Instituto Francés y la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona, que incluía cálculo tensorial, dinámica analítica, relatividad, mecánica ondulatoria y la mecánica cuántica relativista de Dirac. También impartió cursos de doctorado de mecánica cuántica. En este marco entra en juego la política de becas del gobierno francés para ampliación de estudios en Francia de jóvenes licenciados de otros países, lo que influyó de forma determinante en estudiantes de física de la Universidad de Barcelona gracias al contacto con Colin. Uno de los motivos de este impacto en Barcelona era la política centralista del régimen que concedía la mayoría de becas para investigación en Madrid. En concreto, más de treinta licenciados en física por la Universidad de Barcelona emigraron a Francia para realizar estudios de doctorado, de los cuales tres trabajarían en relatividad (Bel, Mas y Capella) y la mayoría en física nuclear y de altas energías (de entre éstos destaca Eduardo de Rafael por sus trabajos en electrodinámica cuántica). La mayoría, con el tiempo, volverían a España. Evidentemente, en esta influencia entre los físicos catalanes también fue un factor determinante las cuestiones políticas, ya que algunos de ellos frecuentaban los ambientes políticos universitarios españoles opuestos a la dictadura. Los estudiantes interesados en relatividad, como Bel, Mas y Capella estuvieron dirigidos en París por Lichnerowicz (físico francés de origen polaco con gran prestigio internacional en relatividad). Posteriormente todos tendrían importantes contribuciones en revistas especializadas, con reconocimiento internacional, así como premios prestigiosos y doctorados *honoris causa*.<sup>17</sup>

Las matemáticas en España sufrieron con la Guerra un impacto significativo, aunque no tan grave como el de la física.<sup>18</sup> Se reorganizaron en torno al *Instituto Jorge Juan*

<sup>17</sup> Este tema ha sido tratado con profundidad en el excelente trabajo de Alfons Capio Rovira, *Ciència i política exterior francesa a l'Espanya de Franco: el cas dels físics catalans* (Centre d'Estudis d'Història de les Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona, 2004), de donde he obtenido esta información.

<sup>18</sup> Para más información véase Javier Peralta, "Sobre el exilio matemático de la Guerra Civil española", *Hispania Nova. Revista de Historia Contemporánea*, nº 6, 2006.

de Matemáticas, dependiente del CSIC, con Rey Pastor como Director. Rey Pastor fue el principal promotor de que se creara en 1953 el *Instituto de Cálculo* y en 1955 la *Sociedad Española de Matemática Aplicada*, cuyo órgano de expresión fue la revista *Arquímedes*, aunque sólo duró hasta 1958. También la vida del Instituto de Cálculo fue efímera, no pudiéndose instalar el primer ordenador en España hasta 1961 en RENFE y en la JEN. Posteriormente se crearía el Centro de Cálculo del CSIC y el de la Universidad Complutense

En cuanto a la astronomía, los observatorios existentes en España en el siglo XX son el Observatorio Astronómico de Madrid, el Fabra en Barcelona, el de la Marina de San Fernando, el del Ebro en Tortosa, el de la Cartuja en Granada, el de la Universidad de Santiago de Compostela, el de la Universidad de Valencia, y el Observatorio del Teide que daría origen al *Instituto Astrofísico de Canarias*.<sup>19</sup>

La mayoría de los observatorios se dedicaban a cuestiones de geodesia, astrometría, controles horarios, astronomía solar, mecánica celeste, sismología y meteorología, de tal forma que no estaban preparados para las observaciones necesarias encaminadas a cuestiones astrofísicas relacionadas con la relatividad (como observaciones de cuásares, pulsares, galaxias remotas, etc), basadas principalmente en la radioastronomía. De esta forma, la relación entre los miembros de estos observatorios y la relatividad se dio en las múltiples referencias que hicieron algunos a datos observacionales provenientes del extranjero, especialmente información obtenida por los radiotelescopios más importantes, así como a labores de divulgación sobre relatividad, destacando aspectos astronómicos de la misma más que teóricos, con la excepción del tratamiento de las cosmologías relativistas. En este aspecto el más destacado de todos ellos fue Antonio Romañá, quien fuera director del Observatorio del Ebro desde el final de la Guerra Civil hasta 1970. En mi opinión esta labor en absoluto es desdeñable, ya que la información sobre relatividad por parte de físicos y matemáticos carecía de este importante aspecto.

El Observatorio Astronómico de Madrid no empezaría a modernizarse hasta principios de los años setenta, con la creación de otras estaciones de observación que pasarían a formar parte del Observatorio Astronómico Nacional. Con esta modernización ya incluiría una nueva línea de trabajo, la radioastronomía.

Tras la Guerra Civil, el Observatorio del Ebro se integró en el CSIC como *Observatorio de Física Cósmica del Ebro*, siendo su principal actividad puramente astrofísica (aparte de las antes mencionadas no directamente relacionadas con la astronomía), la heliofísica o astronomía solar, en concreto espectroscopia solar. Su director, Antonio Romañá, mantuvo contactos internacionales, como la asistencia en 1948 al Congreso de Zurich de la Union Astronómica Internacional, donde fue nombrado secretario de la comisión de fenómenos solares fotosféricos. Parte de su personal colaboró en la expedición a Guinea para el eclipse de 1952.

---

<sup>19</sup> Véase Francisco José González González, *El observatorio de San Fernando en el siglo XX*, Ministerio de Defensa, Madrid, 2004; Manuel García Doncel, *Observatorio del Ebro. Un siglo de historia (1904-2004)*, Publicaciones del Observatorio del Ebro, Tarragona, 2007; J.Tinoco, "Apuntes para la Historia del Observatorio de Madrid", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid*; Anuario para 1952, 1951, p 307-392.

El Observatorio de Santiago surgió por traslado del de propiedad particular de Ramón María Aller en Lalin a la Universidad de Santiago, integrándose igualmente en el CSIC. Su principal labor investigadora fue la relativa a observación de estrellas dobles, en base principalmente a los trabajos de su director, el mismo Aller.

El Observatorio de San Fernando se reorganizó en 1945, creándose una sección de Astronomía y Astrofísica dedicada principalmente al cálculo de las efemérides astronómicas, destacando el encargo por acuerdo internacional en 1962 de calcular las posiciones aparentes de unos centenares de estrellas, correspondientes a uno de los principales catálogos internacionales en uso. Una de las principales labores concretas fue la organización y realización de la expedición a Guinea para observar el eclipse de 1952, aunque el tipo de observaciones realizadas no estaban encaminadas a realizar mediciones de la curvatura de la luz.<sup>20</sup> El director del observatorio, Wenceslao Benítez (1879-1954), sería también el principal organizador de la expedición.

El Observatorio del Teide fue creado en 1959 con el objetivo principal de dedicarlo a la astronomía solar. En su diseño y construcción hubo participación internacional, en un largo proceso, con participación directa de Antonio Romañá por parte del CSIC, José María Torroja de la UCM y el profesor Navarro, Rector de la Universidad de La Laguna. Posteriormente se desarrolló hasta la creación en 1975 del Instituto Astrofísico de Canarias mediante un acuerdo entre la Universidad de La Laguna y el CSIC.

Es importante señalar la labor divulgadora sobre relatividad de la *Sociedad Astronómica de España y América (SADEYA)*, a través su medio oficial de expresión, siendo la publicación más importante sobre Astronomía en España. En 1935 esta revista pasa a llamarse *Urania* y en 1947 es también la publicación oficial de la Unión Nacional de Astronomía y Ciencias Afines.

Como ejemplo de los contactos internacionales de los astrónomos españoles, hubo una importante delegación nacional en la VIII Asamblea de la Unión Astronómica Internacional de 1953.<sup>21</sup> La delegación española fue la siguiente: José Tinoco (Director del Observatorio Astronómico de Madrid, OAM), Rafael Carrasco (OAM), Wenceslao Benítez (Director del Observatorio de San Fernando), Antonio Romañá (Director del Observatorio del Ebro), J. Cardúas (miembro del Observatorio del Ebro), José Barceló (miembro del Instituto de óptica del CSIC) y José Torroja Mendez (de la Universidad de Madrid).

Otro hecho significativo fue la celebración, en 1954, de una exposición internacional de Astronomía en Barcelona, organizada por la agrupación astronómica *Aster*, con la

---

<sup>20</sup> El detalle de dicha expedición se puede consultar en Francisco José González González, *El observatorio de San Fernando en el siglo XX*, Ministerio de Defensa, Madrid, 2004, p 182-199. También, "Expedición a Guinea para la observación del eclipse total de sol del 25 Febrero 1952" *Urania*, nº 234, 1953, p175-187; Francisco X. Montanya,, "El último eclipse de sol observado en Guinea", *Aster*, nº 45, Junio 1952, p 2-3.

<sup>21</sup> Pagès JM "La VIII Asamblea de la Unión Astronómica Internacional", *Aster* nº 52 Enero 1953, p 2-4.



colaboración de Alemania, Estados Unidos e Italia, entre otros. Por parte española participaron representantes de los diferentes observatorios sitos en nuestro país.<sup>22</sup>

Por último, en esta breve síntesis de las ciencias físicas y matemáticas españolas de la época, se hace necesario considerar el exilio de tantos científicos españoles ilustres. En lo que interesa para el objeto de este trabajo se trata en detalle en el apartado 4.12. Para una visión más general existe abundante bibliografía de la que se da referencias en el mismo apartado.

---

<sup>22</sup> Mario Lleguet, "Reportaje de la exposición internacional", *Aster*, nº 75, Diciembre 1954, p 194-196, "III exposición internacional de Astronomía (continuación)", *Aster*, nº 76, Enero 1955, p 2-6; "III exposición internacional de Astronomía (continuación)", *Aster*, nº 77, Febrero 1955, p 10-13.

#### 4.2. SÍNTESIS DE PUBLICACIONES SOBRE RELATIVIDAD EN ESPAÑA (1939-1969)

En este apartado se realiza un sucinto repaso por las principales publicaciones más significativas sobre relatividad, dejando el detalle de los diferentes aspectos temáticos para los siguientes.

Parece conveniente distinguir dos tipos de publicaciones:

- Libros completos, bien manuales de texto universitario de física, bien específicos sobre relatividad o física cuántica, así como libros matemáticos sobre cálculo tensorial, que incluyen apartados específicos sobre las teorías de Einstein.
- Artículos científicos o de divulgación media de autores españoles en revistas especializadas, principalmente españolas, aunque también extranjeras. Se contemplan tanto trabajos realmente originales como escritos teóricos que refieren aspectos sobre relatividad. Respecto a este tipo de publicaciones, no es objeto de este estudio el análisis bibliométrico por las diferentes revistas especializadas.

En cuanto a los libros, los más destacados de autores españoles en los que se trata en mayor o menor medida la relatividad, por orden cronológico, son los siguientes:

- Julio Palacios, *Introducción a la Mecánica Física*, Madrid, 1942 (otras ediciones, *Mecánica Física*, 1948, 3ª edición de 1963)
- Enrique Belda Villena, *Mecánica pura y sus aplicaciones técnicas*, Bilbao, 1944. Otras ediciones: *Mecánica clásica y moderna*, Bilbao, 1950; *Mecánica teórica*, Bilbao, 1968
- Julio Palacios, *Electricidad y Magnetismo*, Madrid, 1945 (2ª edición 1959)
- José María Iñiguez Almech, *Mecánica cuántica*, Academia de Zaragoza, 1949.
- Esteban Terradas y Ramón Ortiz Fornaguera, *Relatividad*, Buenos Aires, 1952.
- Julio Palacios, *Análisis dimensional*, Madrid, 1956 (2ª edición 1964, edición francesa de 1960, edición inglesa de 1964)
- Julio Palacios, *Relatividad. Una nueva teoría*, Madrid, 1960
- Luis Antonio Santaló, *Vectores y tensores y sus aplicaciones*, Buenos Aires, 1961
- Luis María Garrido Arilla, *Cinemática cuántica relativista*, Academia de Zaragoza, 1961 (Otra edición *Mecánica Cuántica*, Rialp, Madrid, 1963)
- Darío Maravall, *Mecánica y cálculo tensorial para ingenieros*, Madrid 1965.
- Iñiguez Almech y Rafael Cid Palacios, *Mecánica teórica clásica y relativista*, Madrid, 1965
- Manuel Lucini, *Principios fundamentales de las nuevas mecánicas (relativista, ondulatoria y cuántica)*, Ed. Labor, Barcelona, 1966
- Antonio Romañá, *Estado actual de la cosmología*, CSIC, Patronato Alfonso el Sabio, Publicaciones del Observatorio del Ebro, memoria nº 12, Tortosa, 1966

(también aparecido como Memoria de la R. Acad. Ciencias de Madrid en el mismo año)

- Algunos libros antirrelativistas, como el de Casares Roldán o Felix Apraiz que se tratan en el apartado 4.7, en verdad son folletos pequeños y de escaso rigor científico, por lo que, aunque los analizo en detalle en el apartado correspondiente, considero que no se pueden contemplar como obras completas respecto al tema.

Salvo el libro de Palacios de 1960, todas las obras son exposición más o menos detalladas de la relatividad dentro de la ortodoxia de la ciencia dominante o “normal” de la época, en la que se asume completamente la teoría de Einstein como cuerpo de doctrina establecido. En mi opinión, las obras más destacadas son las de Terradas y Ortiz, la de Palacios, las que tratan física cuántica relativista, como las de Iñiguez Almech y Garrido y, por último, la de Romañá sobre cosmología.

Los primeros libros de Palacios, como manuales genéricos de texto universitario, incluyen algún capítulo dedicado a la relatividad, que la expone de forma clásica, sin ninguna duda aparente al respecto. En la tercera edición de *Mecánica Física* y en la segunda de *Electricidad y Magnetismo* elimina los respectivos capítulos sobre relatividad, al haber comenzado ya por estas fechas su proyecto de presentar una teoría alternativa a la de Einstein que salvara los conceptos absolutos de espacio y tiempo. En concreto, en la primera y segunda edición de *Mecánica Física* dedica un capítulo al movimiento relativo, exponiendo la relatividad sin que se pueda apreciar rechazo a la misma. Ya en la tercera edición de 1963 suprime este apartado justificándolo por el anterior desarrollo de su teoría alternativa. De *Electricidad y Magnetismo* en la primera edición de 1945, dedica un capítulo sobre relatividad denominado, “Electrodinámica de los cuerpos en movimiento” que se puede situar perfectamente dentro del pensamiento relativista, aunque en la segunda edición de 1959 elimina este capítulo

El libro de Belda Villena de 1944 es un manual clásico de mecánica en el que se incluye un capítulo denominado “elementos de mecánica relativista”, donde expone las ideas fundamentales de la relatividad especial y el principio de equivalencia de forma sintética pero rigurosa. Realmente no introduce ninguna novedad en cuanto a tratamiento de los temas respecto a obras anteriores aparecidas en España. Lo mas destacado, en mi opinión, es el que en un libro de texto de 1944 para primeros años de estudios de ciencias e ingeniería se introdujera un capítulo dedicado a la relatividad. Donde sí hay alguna novedad, que veremos más adelante, en cuanto al tratamiento de la relatividad (novedad sobre lo anteriormente publicado en España y exclusivamente por la forma de presentar las ideas y desarrollos asociados, no en cuanto a novedad de investigación, evidentemente) es en la segunda edición de esta obra en 1950.

En el libro de José María Iñiguez Almech, *Mecánica cuántica* (1949), se trata con profusión cuestiones de física relativista relacionada con la física cuántica y se corresponde con “las lecciones dadas en Zaragoza en los cursos de Estudios de Doctorado explicados en los tres últimos años”. El capítulo II se denomina “Ecuaciones de la Mecánica relativista” y versa sobre las ecuaciones fundamentales de la dinámica relativista y su aplicación a la dinámica analítica con el tratamiento relativista de la

ecuación de Jacobi. En el capítulo III dedica un apartado a la aplicación de la mecánica relativista al modelo atómico de Sommerfeld, con el que se justifican la estructura de las rayas finas del espectro. Por último, dedica un capítulo completo, el XV, a la ecuación de Dirac, partiendo de la forma relativista de la ecuación de Schrödinger.

Una de las obras cumbres sobre relatividad en los años de postguerra fue el libro conjunto de Terradas y Ortiz Fornaguera titulado *Relatividad*, (1952). En una nota previa al texto se indica “El prof. Terradas falleció el día 9 de Mayo de 1950. R. Ortiz dedica a su memoria aquello con que contribuyó a esta obra”, sin que sepamos a ciencia cierta de qué partes se responsabilizó cada uno de los autores. En esa época Ortiz era ayudante de Terradas y su más destacado discípulo. La obra se divide en tres capítulos y cuatro apéndices. El primer capítulo está dedicado a una breve introducción histórica de la física newtoniana, el principio de relatividad de Galileo y un apartado más extenso sobre óptica de los cuerpos en movimiento. El capítulo segundo lo dedican a la teoría de la relatividad restringida, donde se trata la teoría electrónica de Lorentz, las transformaciones de Lorentz y el principio de relatividad con las consecuencias sobre el concepto de simultaneidad y el espacio-tiempo, cinemática y dinámica relativistas y lo que resulta novedoso en tratados sobre relatividad especial en España, el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton (con las correcciones relativistas), así como una introducción sobre el origen de la mecánica ondulatoria. El capítulo tercero versa sobre la teoría general de la relatividad e incluye los principios de equivalencia y de relatividad general, las ecuaciones del campo gravitatorio, el campo electromagnético y las teorías cosmológicas. Hay una serie de apéndices donde se sintetizan el cálculo tensorial, los conceptos de conexión afín y conexión métrica y, por último, los espacios de Eddington, Weyl y Riemann. Es una obra completa y rigurosa, con profundidad en el tratamiento matemático, de la que en sucesivos apartados voy a destacar lo más significativo en cuanto a originalidad en el tratamiento o en los temas analizados, entre los que cabe indicar la profusión de notas al pie de tipo histórico en relación con el origen, desarrollo o controversias sobre conceptos y/o consecuencias de la relatividad.

Es importante señalar que aunque este libro se publicó en Argentina y no en España, es debido fundamentalmente a la relación de Terradas con Argentina, ya que estuvo viviendo ahí hasta su regreso a España poco tiempo antes de su muerte. Además, aunque Ortiz por esos años también residió en el extranjero gracias a su especial valía como físico teórico, volvió a nuestro país para desarrollar su carrera profesional. Por lo tanto se puede afirmar que es una obra española a todos los efectos.

El libro de Julio Palacios sobre Análisis Dimensional (1956) es un manual sobre los fundamentos de dicha herramienta físico-matemática, en la que se desarrollan diferentes aplicaciones del estudio dimensional en respectivas disciplinas de la Física, entre las que incluye la mecánica relativista. En esta obra no se puede observar una refutación clara de la Relatividad, aunque sí indicios de su incomodidad, como por ejemplo los problemas dimensionales en la equivalencia entre masa inercial y gravitatoria.

El último de los libros de Palacios, *Relatividad. Una nueva teoría* (1960), es la culminación de toda una serie de artículos desde 1955 a 1959, donde presenta de forma compacta su teoría alternativa a la de Einstein. Se analiza en detalle en el apartado dedicado al físico aragonés, igual que sus anteriores obras citadas.

El libro de Luis Antonio Santaló (Buenos Aires, 1961), escrito en su exilio argentino, es un manual de cálculo tensorial en el que considera las aplicaciones de esta herramienta matemática en la relatividad especial y general, aportando puntos de vista novedosos al respecto, aspecto que trato en detalle en el epígrafe correspondiente a los científicos exiliados.

Luis María Garrido Arilla, uno de los físicos teóricos españoles más significativos de la época, publicó en 1961 un excelente manual denominado *Cinemática cuántica relativista*, en principio como serie de artículos en la *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*, saliendo publicada como obra independiente editada por la misma academia y que se reeditaría posteriormente como *Mecánica Cuántica*, (Madrid, 1963). Realiza una síntesis histórica de la relatividad especial, general y de la mecánica cuántica, llegando también hasta la teoría cuántica de campos. Expone la cinemática cuántica de forma compatible con la relatividad especial. Dedicar un capítulo al Principio de relatividad de Einstein, con una aproximación muy original en sus explicaciones, lo que detallaré más adelante en el apartado 4.3.2.

El libro de Darío Maravall de 1965 es un manual de cálculo tensorial de contenido similar al de Santaló, con aplicaciones concretas a la relatividad, destacando la incorporación de una teoría suya sobre espacios con torsión para aplicación en teorías unitarias de campo. Esta contribución la analizo igualmente en el apartado específico dedicado a él.

En el libro de José María Iñiguez Almech y Rafael Cid Palacios, *Mecánica teórica clásica y relativista* (1965) se dedica un capítulo a la teoría restringida de la relatividad y otro al campo electromagnético en relatividad especial. Lo más interesante es un capítulo específico sobre las ecuaciones de la Dinámica Analítica en la relatividad especial.

El libro de Manuel Lucini, *Principios fundamentales de las nuevas mecánicas (relativista, ondulatoria y cuántica)* (1966), está dividido en cuatro partes: una primera parte dedicada al cálculo tensorial y matricial, la segunda sobre mecánica relativista, la tercera sobre radiación de la energía y la cuarta a la mecánica cuántica, aunque en esta última no trata la mecánica cuántica relativista.

En 1966 Antonio Romañá publicó un excelente tratado sobre cosmología en el que plantea el concepto y estudio de esta disciplina, analizando en detalle la teoría de la gravitación de Einstein y sus consecuencias en las diversas teorías cosmológicas, teorías que expone con altísima profundidad y rigor, como el Universo cilíndrico de Einstein, el Universo observablemente limitado de De Sitter, los modelos expansivos del Universo, la teoría del átomo primitivo de Lemaître, los modelos newtonianos, el Universo cinemático de Milne, los modelos de Universo de Dirac y Jordan, el universo estacionario de la escuela de Cambridge (Teorías de Gold-Bondi y de Hoyle-McRea) y la teoría de Fantappiè. Igualmente profundiza en las pruebas de las diversas

teorías cosmológicas, realizando un estudio de los experimentos realizados sobre los modelos cosmológicos. También se trata en detalle más adelante.

Por último, es importante señalar la importancia de libros sobre relatividad y física cuántica de autores extranjeros traducidos en nuestro país, que representaban manuales de referencia como libros de texto, cuyas traducciones al castellano en muchos casos fueron responsabilidad de los mismos protagonistas citados. Este aspecto se detalla en el apartado 4.11.

En cuanto a las publicaciones periódicas, los dos principales medios que publicaron trabajos científicos sobre relatividad fueron los *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.* y la *Revista de la Real Academia de Ciencias de Madrid*. En esta última es donde Palacios concentró la mayoría de sus escritos para presentar una teoría alternativa a la de Einstein. Este medio también fue protagonista del debate más interesante sobre relatividad en nuestro país, entre Palacios y Ortiz Fornaguera, con varios artículos de réplicas y contrarréplicas. Aun así, prácticamente todas las revistas científicas de física, matemáticas y astronomía publicaron, en mayor o menor medida, trabajos sobre relatividad, bien originales o bien aportando información sobre novedades relacionadas con la relatividad.

En la comunidad matemática no hubo tanto protagonismo como en la época de recepción, aunque las principales revistas matemáticas reflejaron contribuciones sobre relatividad, como la *Revista Matemática Hispanoamericana*, de la Sociedad Matemática Española, las revistas de divulgación de la misma sociedad, *Matemáticas elementales* y *Gaceta Matemática*, así como *Collectanea Mathematica*, del seminario matemático de la Universidad de Barcelona.

En revistas de Física, además de los *Anales de Física*, aparecieron algunos artículos de divulgación en *Physicalia*, el medio de expresión de la Asociación Nacional de Físicos. También hay que contemplar revistas del CSIC de física aplicada, como *INE (Revista de Información Electrónica)*, *Electrónica y Física Aplicada* o *Luz*, aunque realmente fueron escasos los trabajos publicados sobre relatividad. Lógicamente, también se han considerado los trabajos científicos de autores españoles aparecidos en publicaciones especializadas extranjeras, inicialmente escasos, situación que empezó a cambiar a principios de la década de los setenta. Entre estas revistas, la de mayor relevancia en cuanto a producción española durante las décadas de los cincuenta y sesenta es *Il Nuovo Cimento*, perteneciente a la sociedad italiana de física

En las revistas de astronomía aparecieron bastantes trabajos sobre cuestiones astronómicas relacionadas indirectamente con relatividad, como temas de rayos cósmicos, cuásares y pulsares, espectroscopía astronómica, etc. Las principales revistas fueron la de la Sociedad Astronómica de España, *Urania*, boletines de los diferentes observatorios astronómicos, entre los que cabe destacar el del Observatorio Astronómico de Madrid, y otras como *Aster*. También la revista de la Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias, *Las Ciencias*, publicó bastante sobre astronomía. (Se detallan estas publicaciones en el apartado 4.10 “Astronomía y relatividad”)

Las revistas de las tres academias de Ciencias existentes en la época, la de Madrid, la de Zaragoza y la de Barcelona, también publicaron trabajos sobre relatividad,

destacando la de Madrid, precisamente porque, como ya he comentado, su vicepresidente, Julio Palacios, usó su órgano de expresión como medio principal de divulgación de su teoría antirrelativista. Aún así, la revista de esta academia publicó trabajos muy interesantes sobre relatividad, incluso algunos que entraban en debate directo con Palacios, como veremos más adelante. La de Zaragoza destacó por publicar una larga serie de artículos de Garrido sobre mecánica cuántica relativista (que luego aparecería como libro independiente, el ya citado) y una síntesis de la tesis doctoral de Ynduráin sobre Teoría Cuántica de Campos. En cambio, en la de Barcelona sólo aparecieron algunas memorias sobre temas astronómicos y partículas elementales, en los que había algunos aspectos indirectamente relacionados con relatividad.

Otros medios considerados han sido *Las Ciencias*, perteneciente a la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias* y las revistas de divulgación científica *Euclides* e *Ibérica*. Precisamente en la revista *Euclides* fue donde Maravall comenzó su larga serie de trabajos originales sobre relatividad.

Muchos de los trabajos de mayor relevancia científica, algunos de ellos aparecidos en publicaciones extranjeras prestigiosas, realmente no se produjeron sobre relatividad directamente, sino sobre física cuántica, teoría cuántica de campos, física nuclear y partículas elementales, temas que lógicamente también se relacionaban con la relatividad. En todos estos casos, sin excepción, se asumía la relatividad y se consideraba su aplicación en la denominada física cuántica relativista. Igualmente, en las aproximaciones que se hicieron a la relatividad desde la matemática teórica y la astronomía, también se consideraba la relatividad como cuerpo de doctrina establecido. La única excepción a esta unanimidad fue la de Julio Palacios y algunos de sus colaboradores.

En cuestiones genéricas, como las teorías especial y general, cosmología, teorías unitarias y aplicaciones astrofísicas, en realidad, los trabajos no eran aportaciones originales, salvo excepciones que veremos, sino resúmenes e interpretaciones de la situación ya conocida, la mayoría de las veces no exentos de rigor científico. En este aspecto la originalidad había que buscarla más bien en la forma del tratamiento, aplicaciones concretas o aclaraciones teóricas sobre aspectos avanzados. Las excepciones a esta línea general fueron la de Palacios (por su intento de construir una teoría alternativa) y la de Darío Maravall, que si no tuvo proyección y reconocimiento internacional, sí por lo menos hizo intentos realmente originales, independientemente que tuvieran más o menos éxito, tanto en formulación de nuevas teorías como en aplicaciones concretas de la relatividad general.

El desarrollo del tratamiento de la relatividad en España (en el período 1939-1969) lo he dividido en los siguientes temas: aspectos históricos de la relatividad; relatividad especial y general; cosmología; teorías unitarias; física cuántica relativista; relación con la astronomía; aspectos matemáticos. A continuación se destacan los autores españoles que presentaron los trabajos científicos más interesantes específicos sobre cada uno de los temas anteriores:

En temas específicos de relatividad especial y general, cabe destacar los trabajos de Terradas, Ortiz Fornaguera (con otros escritos avanzados además del libro citado en

colaboración con Terradas), Julio Palacios, Antonio Castro Brzecicki, Darío Maravall, Luis María Garrido, Javier Sesma, Jesus Biel, Iñiguez Almech, Fernández Ferrer, Mariano Mojena Díaz, E.Santos, José A. de Azcárraga, Luis Boya, Eduardo de Rafael, José María Orts, Antonio Colino, López Arroyo, González Gascón, R. Velasco y Manuel Lucini. Las aportaciones de todos ellos se tratan en el apartado 4.3.2, salvo las de Maravall y Palacios por lo extenso de su producción sobre relatividad y a los que se dedican apartados específicos.

Sobre temas generales de relatividad también hay que considerar los debates habidos en España sobre relatividad y los posicionamientos ambiguos o antirrelativistas.

Respecto al primer asunto, debates principalmente sobre la teoría de Palacios, tenemos de nuevo a Ortiz Fornaguera, José Baltá Elías, Ruiz de Gopegui, Leonardo Villena, Peña Serrano, Gallego Díaz, Francisco Moran y García Lahoz. Este interesante aspecto se trata también en un apartado independiente, el 4.8.

Otros posicionamientos ambiguos o antirrelativistas, aparte del de Palacios, son los de Felix Apraiz, Enrique Gutiérrez (primero ambiguo y posteriormente convencido relativista ante el descubrimiento del positrón, predicho por la teoría de Dirac), Rafael de Valdivia, Leonardo Villena, Diaz Bejarano, Jesus Biel (inicialmente en la línea de Palacios por haber trabajado con él de joven, pero posteriormente con interesantes contribuciones sobre mecánica cuántica relativista, asumiendo la relatividad como ciencia "normal"), Casares Roldán, Juan Alberto Morales, Galvez Laguarda y Antonio Herranz (más bien ambiguo quizá porque Palacios le dirigiera su tesis doctoral)

Es interesante la aportación de algunos autores sobre cuestiones históricas del origen y desarrollo de la relatividad, como Terradas, Iñiguez Almech, Palacios, Lucini, Baltá Elías, Romaña y Enrique Gutiérrez (este último sobre el origen histórico de la teoría de Dirac).

En cuanto al tratamiento de cosmologías relativistas cabe destacar el intento de Darío Maravall de plantear novedades sobre modelos cosmológicos, así como los diferentes repasos realizados por las cosmologías relativistas por parte de Terradas y Ortiz Fornaguera, José María Torroja, Daniel Escandell, Ignacio Puig, José Pensado, Antonio Colino, Enrique Suñer y, sobre todo, Antonio Romaña.

Sobre teorías unitarias lo más destacado son los estudios de Jesús María Tharrats como trabajos científicos especializados, el repaso al estado de la cuestión por parte de Terradas y Ortiz, así como el intento de Maravall de presentar una teoría unitaria. También son importantes los trabajos de Santaló desde el exilio.

Claramente, en física cuántica es donde hubo mayor nivel de trabajos originales de físicos españoles. De hecho, la física nuclear fue, con diferencia, la disciplina que más arraigó en España con motivo del interés institucional en desarrollar las ciencias aplicadas, más que las teóricas. Aun así, indirectamente se desarrolló también la física teórica sobre partículas elementales y teoría cuántica de campos, también en mucha mayor medida que en relatividad. Como he comentado, muchos temas de la física del microcosmos están relacionados con relatividad, pero la originalidad de los científicos españoles en este campo hay que contemplarla más en el ámbito de la física cuántica



que en la relativista. Por este motivo, aunque evidentemente trato en un apartado específico las publicaciones sobre física cuántica, no lo hago con tanta profundidad como en las específicas de relatividad especial y general. Los autores más destacados fueron Ortiz Fornaguera, Foz, Enrique Gutiérrez, Vidal Llenas, Garrido Arilla, Pedro Pascual, Ramón Pascual, Alberto Galindo, Javier Sesma, Jesús Biel, E. Santos, L. Oliver, Mojena Díaz, López Arroyo, Sánchez Gómez, Francisco Ynduráin y Sánchez del Río.

En cuestiones astronómicas, generalmente información actualizada del extranjero, pero de alto nivel científico en muchos de los escritos, y, en cualquier caso, fundamental para un estudio sobre el tratamiento de la relatividad, publicaron indirectamente sobre relatividad Wenceslao Benítez, Ramón Parés, Enrique Gullón, E. Gastardi, Antonio Paluzié, Juan J. de Orus Navarro, Federico Armenter, R. Velasco, José Pensado, Antonio Due, Febrer Carbó, Baltá Elías, José María Torroja, José María Codina Vidal, López Arroyo, Ballber y Antonio Romaña.

En trabajos específicamente matemáticos hay que señalar los dedicados a cuestiones de análisis dimensional de Ricardo San Juan, Luis Hurtado y Saez García. Sobre cuestiones más puramente matemáticas, Vidal Abascal, J. Ochoa, Alberto Galindo, Ynduráin, J.L. Alonso, Vidal Abascal y Pedro Luis García Pérez. En realidad las contribuciones de Galindo, Ynduráin y Alonso son sobre aspectos matemáticos de teoría cuántica de campos relacionados con el grupo de Poincaré. En mi opinión lo más interesante son los trabajos de García Pérez sobre geometría simpléctica en teorías de campos, que incluyen las relativistas.

Por cantidad de trabajos publicados, destacan claramente Julio Palacios y Darío Maravall. El primero por su significación antirrelativista a lo largo de muchos años y por la multitud de artículos escritos, así como autor del libro específico ya citado. El segundo por su intento de aportar originalidad a lo largo de varios años en bastantes escritos.

Además, destacaron en el extranjero Manuel Martínez-Risco, Luis Antonio Santaló, Lluís Bel, Lluís Mas y Alfonso Capella. Los dos primeros tuvieron que exiliarse al finalizar la Guerra Civil, pero se formaron en España, comenzando su carrera profesional también en nuestro país. En cambio Bel, Mas y Capella emigraron a Francia, como ya he comentado, para realizar estudios de doctorado y comenzar su trayectoria profesional, aunque mantuvieron fuertes vínculos en España, como veremos.

Martínez-Risco destacó por sus trabajos originales en óptica relativista, publicados en medios franceses. Santaló por análisis de teorías unitarias y aspectos matemáticos relacionados con la relatividad. Se realiza una breve síntesis de la contribución de estos científicos españoles exiliados, más los casos de Cabrera, Carrasco, Emilio Herrera y Francisco Vera (menos significativos en cuanto a publicaciones sobre relatividad) en el apartado 4.12 “los científicos españoles en el exilio ante la relatividad”.

En cuanto al grupo de físicos españoles en Francia, hay que señalar la fundamental aportación de Lluís Bel sobre radiación gravitacional y otras aplicaciones de la

relatividad general (incluyendo la propuesta de un nuevo tensor, más tarde conocido como tensor de Bel-Robinson), aunque realizada en Francia a partir de 1958 desde su puesto de investigador en el CNRS. Más tarde, a partir de 1971, Bel tendría una participación directa en las universidades españolas, impartiendo algunos cursos y dirigiendo trabajos de investigación sobre relatividad, como veremos en el capítulo cinco. Este trabajo de dirección sobre jóvenes físicos sería fundamental para la creación de un grupo estable de científicos dedicado a relatividad general. En este sentido, igual que a Cabrera se le puede considerar el “padre” de la física española, Bel es merecedor de un honor similar como el “padre” de los relativistas españoles. Hay que indicar que, a pesar de la gran cantidad de autores, como hemos comprobado, que publicaron sobre relatividad, en realidad, sus trabajos en este campo no eran exclusivos de su trayectoria profesional. En definitiva, hasta el principio de los años setenta, y gracias a la enorme influencia de Bel, no hubo un grupo de científicos españoles que se dedicara en exclusividad a investigar sobre relatividad.

Capella trabajó sobre cuantificación del campo gravitatorio y Lluís Mas sobre nuevas soluciones de las ecuaciones de campo einstenianas. También hay que indicar que Lluís Mas posteriormente se establecería en España, como catedrático de Física Teórica en la Universidad de las Islas Baleares.

Se analizan estas contribuciones de Bel, Capella, Mas y, en menor medida, de De Rafael sobre partículas elementales, en el apartado 4.5.

Un hecho culminante respecto a tratamiento de la relatividad en España fue la primera reunión de física teórica, celebrada en Santander en Agosto de 1965, con presencia de Bel y Capella (otro investigador español en el CNRS). En la Física española tuvo una importancia fundamental este congreso de físicos teóricos, cuyo director fue Carlos Sánchez del Río y secretario Alberto Galindo. Los participantes que presentaron comunicaciones fueron Lluís Bel, Alfonso Capella, Pedro Pascual, Antonio Fernández-Rañada, Alberto Galindo, Francisco Ynduráin, Eduardo de Rafael, Ramón Pascual, Ángel Morales, Gonzalo Madurga, José Guasp y los físicos extranjeros Bruno Escoubes y Fokion Hadjioannou (del CERN de Ginebra). Hubo otros participantes como Luis Boya, Ramón Ortiz Fornaguera, Mario Soler y Rafael Nuñez-Lagos.

Las comunicaciones de la primera parte aparecieron en las correspondientes actas, sin que tengamos seguridad de que aparecieran las de la segunda<sup>1</sup>. En esta primera parte se trataron temas de relatividad general y de física de partículas (modelos de colisiones y relaciones de dispersión). En la segunda se trataron teorías de grupos y simetrías, y fenomenología de partículas elementales. En lo que nos concierne para el objeto de esta tesis nos interesan las comunicaciones de Alfonso Capella, Lluís Bel, Alberto Galindo y Eduardo de Rafael, los dos primeros sobre relatividad general y los dos últimos sobre física cuántica en la que se consideraban cuestiones relativistas.

Capella presentó dos contribuciones, una sobre teorías minkowskianas lineales de la gravitación y otra sobre el problema de la cuantificación del campo gravitatorio. La

---

<sup>1</sup> *Actas de la I reunión de Física Teórica*, Volumen I, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Santander, 1965. El volumen segundo no lo he encontrado en ningún organismo nacional. Agradezco el esfuerzo de búsqueda del personal de la UIMP, así como su amabilidad.

comunicación de Lluís Bel versó sobre radiación gravitacional. La de Alberto Galindo sobre simetrías relativistas, en concreto acoplamiento de simetrías internas y espacio-temporales<sup>2</sup>. Por último, la de Eduardo de Rafael trató sobre correlaciones angulares.

Los temas tratados por Alfonso Capella, Lluís Bel y De Rafael en realidad eran síntesis de sus contribuciones realizadas en Francia y publicadas en diversos medios científicos, en su mayoría revistas francesas. Por su importancia los trato en un apartado específico dedicado al grupo de físicos en Francia, el 4.5. Pero es importante destacar el hecho de que estos científicos españoles afincados en Francia participaran en nuestro país en un congreso de física teórica, aspecto de importancia por el contacto con sus otros colegas españoles, lo que facilitaría el posterior regreso de Lluís Bel y Lluís Mas (otro de los físicos afincados en Francia con interesantes aportaciones originales en relatividad general). La estancia de Bel en España se limitó a dos cursos, desde 1971 a 1973. Todo ello se trata en el capítulo quinto.

También hay que contemplar la publicación en España de trabajos realizados por científicos extranjeros. Por un lado manuales de texto universitario, como los de Landau-Lifshitz, Messiah o Smith, así como libros de divulgación y biografías sobre Einstein. En cuanto a trabajos aparecidos en revistas científicas españolas, cabe destacar, aparte de unos pocos científicos foráneos antirrelativistas presentados por Palacios en línea con sus teorías, la influencia de Fanttapié y su discípulo Arcidiacono, quien publicara bastantes trabajos en nuestro país.

---

<sup>2</sup> Lamentablemente no he podido localizar el texto correspondiente, según indicación en nota anterior.

### 4.3. EL TRATAMIENTO DE LA RELATIVIDAD COMO TEORÍA FÍSICA

En este apartado voy a repasar las contribuciones de autores españoles a la relatividad, destacando aquellas que suponen alguna novedad respecto de lo reseñado en la época de recepción (años veinte), con lo que no voy a detallar aspectos ya repetidos, sino los que suponen algún tipo de originalidad, aunque sea sólo en cuanto a tratamiento de los diversos temas relacionados. Aquí he exceptuado el estudio de Julio Palacios, Darío Maravall, el grupo de físicos catalanes en Francia especializados en relatividad (Lluís Bel, Alfonso Capella y Lluís Mas) y los científicos exiliados, a quienes se dedica, respectivamente, un apartado específico, por motivos que ya se han justificado anteriormente. Igualmente los casos en que hubo un cierto nivel de debate, como los protagonizados por Ortiz Fornaguera, Gallego Díaz o Ruiz de Gopegui, todos con Palacios, se analizan en detalle en un apartado específico. Por claridad en la exposición, he creído conveniente dividir este apartado en cinco grandes grupos temáticos: aspectos históricos de la relatividad, temas genéricos de las teorías restringida y general, aspectos cosmológicos, física cuántica y teorías unitarias de campo, que aparecen en sucesivos subapartados o epígrafes. Excluyo aquí los aspectos directamente relacionados con astronomía y matemáticas, a los que se dedican también apartados específicos. De todas formas, creo que es una división algo arriesgada, ya que algunos aspectos son tanto genéricos de la relatividad, como de cosmología y astronomía, pero aun así, debido a la extensión de los contenidos, así como a los múltiples autores y textos trabajados, creo que esta clasificación ayuda a una visión clarificadora del conjunto. Sólo la física cuántica relativista y las teorías unitarias de campo tienen, en principio, una frontera clara en cuanto a sus contenidos, aunque, como veremos en el capítulo quinto, con el estudio de los Agujeros Negros se produce una cierta intersección entre relatividad general y física cuántica.

#### 4.3.1. ASPECTOS HISTÓRICOS SOBRE EL ORIGEN Y DESARROLLO DE LA RELATIVIDAD

En este apartado voy a tratar las aportaciones de Terradas y Ortiz, Iñiguez Almech, Manuel Lucini, Antonio Román, Vidal Llenas y Enrique Gutiérrez, quienes realizaron algunas consideraciones novedosas en España sobre el origen de la relatividad especial, general, cosmologías relativistas o mecánica cuántica relativista. Exceptúo así las referencias que se hicieron, por parte de muchos autores españoles, de cuestiones históricas ya conocidas o experimentos recientes de su época sobre relatividad.

En este sentido, sin duda la obra más importante es la ya citada *Relatividad* (1952) de Terradas y Ortiz Fornaguera. En mi opinión, lo más importante e innovador de este texto es el repaso histórico que realizan los autores sobre la génesis de la relatividad especial, con una visión que creo que no se había dado hasta entonces en nuestro país.

La parte que dedican Terradas y Ortiz a la óptica de los cuerpos en movimiento es muy interesante porque se analizan los experimentos anteriores al de Michelson–

Morley, como los relacionados con el fenómeno de la aberración estelar. Por ejemplo, detallan los diferentes experimentos de Fresnel, Arago, Bosovich y Airy (dando referencias de los trabajos publicados) sobre la diferencia en la observación con dos telescopios, uno de ellos llenado con agua. También refieren el experimento de Fizeau para determinar cómo la materia en movimiento debiera comunicar parte de su velocidad a la luz. Estos experimentos, en teoría, debían determinar el movimiento absoluto de la Tierra respecto al éter, pero en todos ellos no se dio resultado “positivo”. En definitiva, se nos muestra el estado de confusión en torno a la naturaleza de la luz (que todavía seguía sin resolver el problema de la dualidad en cuanto al modelo corpuscular y el ondulatorio<sup>1</sup>) y su comportamiento en sistemas móviles. Aunque Terradas y Ortiz explican en detalle el experimento original de Michelson-Morley, destaca la importancia que dan a la sucesiva repetición de este experimento, principalmente el de Morley y Miller en 1905 con un dispositivo interferométrico más preciso:

Resumiendo, los fenómenos electromagnéticos (en particular los de tipo óptico a los que los métodos interferenciales prestan una gran sensibilidad) permiten reconocer el estado de movimiento de un sistema de referencia acudiendo a experimentos realizados en él cuando aquél es un movimiento acelerado respecto de una referencia galileana, pero no si se trata de una traslación rectilínea y uniforme. Al mismo resultado conducía la mecánica de Galileo-Newton. De ahí a encuadrar todos los fenómenos físicos en un solo principio de relatividad no hay más que un paso. Este paso lo dio Einstein, mejor dicho, y en honor a la verdad, Einstein y Poincaré, simultáneamente.<sup>2</sup>

Para explicar la teoría electrónica de Lorentz entran de lleno en el debate sobre si la relatividad especial se basó únicamente en el fallido experimento de Michelson-Morley:

Se ha dicho que fue precisamente el resultado negativo de los experimentos en que se perseguía aquel fin lo que dio lugar a la teoría de Einstein, como si sólo la teoría de la relatividad especial pudiera

<sup>1</sup> En este sentido es muy útil la síntesis que realiza French en *Special Relativity* ( 1ª edición en español en 1974), sobre los fenómenos que se explicaban con la interpretación corpuscular u ondulatoria en relación con la detección del movimiento absoluto:

	Modelo corpuscular	Modelo onda/éter
La luz viaja en línea recta	Correcto	Válido si longitud de onda << anchura del rayo
Efectos de interferencia y difracción	No ofrece explicación convincente	Correcto
Polarización de la luz.	No ofrece explicación convincente	Correcto
La velocidad de la luz independiente de la velocidad de la fuente.	Desacuerdo claro	Correcto
La velocidad de la luz mayor en el aire que en el agua	Desacuerdo claro	Correcto
Experimento de Fizeau	Requiere un arrastre parcial de la luz por el medio	Requiere un arrastre parcial de la luz por el medio
Aberración estelar.	Correcto	Válido si la Tierra se mueve respecto al éter.
Experimento de Michelson-Morley.	Correcto	Implica que la Tierra no se mueve respecto al éter.

“explicar”, en el sentido en que hay que tomar este verbo en el campo de la física, la ausencia de efectos observables en un tal movimiento. Esto es cierto sólo a medias. Verdad es que el problema de las relaciones entre la mecánica y el electromagnetismo, problema cuya resolución habría de conducir a una electrodinámica de los cuerpos en un movimiento libre de contradicciones, tanto desde el punto de vista formal como del empírico, fue una de las cuestiones fundamentales desde que Maxwell hubo establecido su teoría electromagnética, síntesis del electromagnetismo y la óptica, y también lo es que Einstein propuso una solución al mismo en su célebre memoria *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, respondiendo así al interrogante que se había planteado la física de los últimos años del siglo XIX. Pero no es cierto que no existiera teoría alguna que se ajustara a los fenómenos de aquella índole hasta entonces conocidos y fuera capaz de “explicarlos”. Y es notable que tal teoría no sólo existía, sino que todas sus consecuencias principales se vieron respetadas por la teoría einsteniana. Además, esa teoría, partiendo del supuesto de un éter inmóvil, presente doquiera, daba su versión de por qué los experimentos ideados para hacer patente el movimiento rectilíneo y uniforme respecto del mismo habían fracasado. Esta teoría es la teoría electrónica de H.A. Lorentz.<sup>3</sup>

Lorentz pretendía proporcionar un modelo adecuado de los procesos electromagnéticos, para lo que consideraba que éstos ocurren por mediación del éter, lo que permite definir un sistema de referencia privilegiado. Además, los electrones o cualquier partícula cargada deben ser el vínculo que une la materia y el éter. El campo electromagnético obedece las ecuaciones de Maxwell, y la fuerza que el mismo ejerce sobre la unidad de volumen de materia cargada con densidad  $\rho$  es  $F = \rho(E + \frac{1}{c} v \wedge H)$ .

Con estas características resulta que la teoría electromagnética de Lorentz es una teoría del campo electromagnético microscópico basada en una hipótesis de éter inmóvil. Al tomar en cuenta los movimientos de los electrones respecto del éter en reposo, cuantitativamente se concluye que sólo contribuyen los efectos de primer orden en  $v/c$ , es decir son despreciables los términos  $v^2/c^2$ . De esta forma, el resultado del experimento de Fizeau se puede justificar en el marco de la teoría de Lorentz. Únicamente los experimentos de Michelson-Morley y Trouton-Noble escapaban al esquema de Lorentz, con lo que éste último y Fitzgerald, aunque de forma independiente<sup>4</sup>, propusieron la hipótesis de la contracción de los cuerpos en la dirección del movimiento, motivo por el que es indetectable el movimiento respecto al éter.

Estando así las cosas y con el problema de que las transformaciones de Galileo no dejaban invariantes las ecuaciones de Maxwell, se planteaba si existían transformaciones lineales más generales que cumplieran dicha condición de invariancia. Pues bien, nos informan Terradas y Ortiz que en 1887 Voigt introdujo el

<sup>2</sup> Terradas y Ortiz Fornaguera, *Relatividad*, Espasa Calpe Argentina, Buenos Aires, 1952, p. 37.

<sup>3</sup> Terradas y Ortiz, *ibídem*, 1952, p. 38 y 39.

<sup>4</sup> Según informan Terradas y Ortiz, Fitzgerald no publicó su teoría, sino que se limitó a exponerla en sus lecciones que fueron recogidas por Lodge y publicadas por éste último en 1893.

concepto de tiempo local para lograr dicha invariancia en las ecuaciones del electromagnetismo<sup>5</sup>, donde proponía unas transformaciones del tipo

$$x' = \frac{k(x - vt)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; \quad y' = ky; \quad z' = kz; \quad t' = \frac{k(t - vx/c^2)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Lorentz fue el primero en establecer en toda su generalidad la principal propiedad de las transformaciones propuestas por Voigt, la invariancia para las ecuaciones de Maxwell. Pero el problema es que Lorentz sólo pudo comprobar, por un error formal, esta invariancia para el caso de densidad de carga nula. Poincaré fue el que dio con las formulas correctas de transformación (con el coeficiente  $k=1$ ) para cualquier valor de la densidad de carga, a las que denominó ecuaciones de Lorentz, porque consideraba que era éste último el que hizo la fundamental aportación respecto a la correcta interpretación de dichas transformaciones (invariancia para ecuaciones de Maxwell). Más adelante veremos que en la teoría alternativa de Palacios se proponían unas ecuaciones que formalmente eran similares a las de Voigt (aunque esta similitud no se cita en ningún texto de Palacios).

Desarrollan aquí Terradas y Ortiz un interesante problema histórico de interpretación del principio de relatividad y de prioridad en su adjudicación. Se planteó la disyuntiva entre mantener los principios de la cinemática clásica o los de la invariancia de la electrodinámica. La solución a este problema hay que adjudicársela, según los autores españoles, a Poincaré por considerar que el principio de relatividad basado en las transformaciones de Lorentz solucionaba el problema de la invariancia de las ecuaciones de Maxwell y además lo extendía a todos los fenómenos de la física. En cambio, atribuyen a Einstein la solución definitiva por la forma en que planteó y resolvió el problema, no postulando a priori la covariancia de las ecuaciones de Maxwell, sino con un nuevo postulado, el de la constancia de la velocidad de la luz para todo sistema de referencia. Aparentemente parece que hay una contradicción entre el principio de relatividad y el de constancia de la velocidad de la luz. Pero se soluciona con el nuevo concepto de simultaneidad y en que los dos invariantes propios de la cinemática clásica, la distancia entre puntos y el intervalo temporal, se convierte en la cinemática relativista en un solo invariante, el intervalo entre dos sucesos, en el que intervienen conjuntamente las magnitudes espaciales y temporales. Por este motivo no cabe hablar de una entidad espacial y otra temporal, sino de una sola denominada *espacio-tiempo*. Desde mi punto de vista, este análisis de Terradas y Ortiz sobre la prioridad entre Poincaré y Einstein es de los más precisos que se pueden encontrar.

En este asunto, Terradas y Ortiz vuelven a introducir una extensa nota histórica de indudable interés, ya que no parece hubiera sido señalada anteriormente, por lo menos por un autor español. Se trata de la contribución de Minkowski sobre la nueva geometría implícita en la relatividad especial y de la interpretación realizada por Varicak en 1910, a partir de la de Minkowski, de las fórmulas de la relatividad especial en el marco de la geometría de Bolyai-Lobachevski.

---

<sup>5</sup> Voigt, "Über das Dopplersche Prinzip", *Gött.Nachr.*, 1887, p 41.

Otro aspecto interesante es el tratamiento que realizan, siempre en el marco relativista, sobre el fenómeno de la aberración, obteniendo la fórmula relativista de la aberración, y sobre la interpretación de los experimentos de Fizeau y Michelson-Morley en el marco de la nueva teoría:

Uno de los instrumentos matemáticos más eficaces para el estudio de las cuestiones relativistas es el método geométrico, bien sea la geometría del espacio seudoeuclídeo de Minkowski en el caso de la relatividad restringida, bien la geometría pseudoriemanniana del espacio tiempo de la relatividad generalizada, bien las geometrías aun más generales utilizadas en las teorías unitarias. En cualquiera de estos casos, es dentro del marco geométrico donde los conceptos, nuevos o clásicos, que se encuentran en la teoría alcanzan su pleno sentido y muestran todo su contenido.<sup>6</sup>

En cuanto a la dinámica relativista, ya la teoría electrónica de Lorentz predecía una relación entre la masa asociada a cargas eléctricas y la velocidad del tipo

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \text{ y al mismo resultado conduce la dinámica relativista, aunque no}$$

sólo para la masa asociada a cargas eléctricas, sino también para partículas eléctricamente neutras. En este aspecto se nos da detalle de las publicaciones en las que se describen los experimentos realizados para comprobar la relación entre la masa y la velocidad, como Kaufmann en 1905 y 1906, Bucherer en 1908, Guye y Ratnowsky en 1911, Guye y Lavanchy en 1916, todos ellos sobre rayos catódicos, es decir que dicha comprobación era para partículas cargadas, y que apoyaban la predicción teórica.

Por último, en el desarrollo que hacen Terradas y Ortiz de la relatividad general citan todos los trabajos de Einstein desde 1913 a 1916, lo que indica la buena referencia que es este texto para seguir la evolución histórica de la relatividad.

En definitiva, aunque este libro de Terradas y Ortiz no contiene un epígrafe específico sobre cuestiones históricas de la relatividad, ni en principio parece que fuera el objeto de esta obra, es un sensacional texto para seguir este interesante aspecto.

Uno de los físicos más destacados de la época, José María Iñiguez Almech, quien fuera catedrático de la Facultad de Ciencias de Zaragoza y vicerrector de la misma universidad, aprovechó, al principio de la década de los cincuenta, dos discursos de inauguración de cursos (en la Universidad de Zaragoza y en la Academia de Ciencias de la misma ciudad) para tratar cuestiones de historia de la física, en las que destaca la importancia del origen de la relatividad<sup>7</sup>. En el primero realizó una breve y brillante historia de la física, llegando hasta la física cuántica y la relatividad, de las que se mostraba partícipe en sus principios. Sólo destacar la referencia que hizo a que en tiempo hubo debate sobre la relatividad por cuestiones religiosas, debate que opina no

<sup>6</sup> Terradas y Ortiz, *Ibíd.*, 1952, p. 69.

<sup>7</sup> Iñiguez Almech, El enigma del mundo físico en la mecánica moderna. Lección inaugural 1951-1952, Universidad de Zaragoza, 1951; "Aspecto actual de la mecánica teórica", *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*, 1953, p 5-19.



ha lugar. Cita como ejemplo al sacerdote Lametrie, que postuló la finitud del Universo basándose en la relatividad general de Einstein. Hay que retrotraerse a la época en la que dominaba el nacional-catolicismo en diferentes aspectos de la vida española, como también el académico, por lo que había especial preocupación entre personalidades destacadas de la cultura y la ciencia en hacer compatible la ciencia moderna con la doctrina católica, más cuando anteriormente, por absurdo que pareciera, hubo un cierto nivel de controversia por cuestiones teológicas sobre la relatividad en años anteriores, como hemos visto en la época de recepción, especialmente en Italia y España.

Para Iñiguez, la mecánica se puede dividir en cuatro ramas bien definidas, la mecánica racional, mecánica relativista, mecánica atómica y mecánica nuclear, siendo esta última la que todavía en esos años estaba en fase incipiente. Respecto a la relatividad afirma:

La Mecánica relativista está próxima a cumplir ahora los cincuenta años de su existencia. Recibida, como toda innovación, con recelo grandísimo por quienes se aferran a considerar como dogma los principios en que se basaba la ciencia que estudiaron, hoy es admitida como un paso más en la aproximación hacia la verdad, en vista de la confirmación experimental de las consecuencias que, partiendo de sus principios, se obtenían.<sup>8</sup>

Aunque Iñiguez realizó un repaso histórico por la relatividad especial y general (sin formalismo matemático, pero muy clarificador conceptualmente) hasta llegar a las teorías del Universo, en mi opinión, lo más destacado como visión novedosa es la referencia al intento de Loiseau de unir la mecánica relativista y racional en una misma disciplina, expuesta en el libro *La mécanique rationnelle dans un espace a quatre dimensions et ses applications* (1952), intento que Iñiguez defiende y podría servir para “abrir nuevos horizontes”.

Otro autor que se interesó por cuestiones conceptuales asociadas al origen de la relatividad fue Manuel Lucini, en concreto sobre el problema clásico del éter, destacando “las patentes contradicciones” que se producían en la electrodinámica por mantener la hipótesis del éter, y concluyendo que

...la teoría de la Relatividad acaba con uno de los entes más paradójicos y casi absurdos que ha creado, forzada, justo es decirlo, por las circunstancias, la Física del siglo pasado.<sup>9</sup>

Lucini (1890?-1975) fue uno de los ingenieros protagonistas del proceso de recepción de la relatividad en España, interviniendo en un debate científico con Eddington en la revista *Madrid Científico* en 1923. Fue profesor de *Mecánica General y Aplicada* en la Escuela Industrial de Madrid.

Para Lucini, “en la idea directriz de la teoría relativista”, influyeron tanto o más las consideraciones electrodinámicas que el resultado negativo del experimento de Michelson-Morley. Es una idea interesante porque es conocido el debate entre los

---

<sup>8</sup> Iñiguez Almech, 1953, p. 9.

<sup>9</sup> Manuel Lucini, *Principios fundamentales de las nuevas mecánicas (relativista, ondulatoria y cuántica)*, Barcelona, 1966, p. 82.

historiadores de la ciencia sobre la influencia de dicho experimento en la génesis de la teoría relativista de Einstein. También concluye la importancia, para la teoría electromagnética, de considerar un solo ente matemático que englobe el campo eléctrico y el magnético, el tensor antisimétrico  $F_{\mu\nu}$ .

Otro autor que trató de forma brillante el origen y desarrollo de la relatividad general hasta la obtención por Einstein de las ecuaciones de campo, fue Antonio Romaña (1899-1984), en su obra *Idea sobre el estado actual de la cosmología* (Tortosa, 1966)<sup>10</sup>. Romaña fue doctor en Exactas por la Universidad de Barcelona, profesor de matemáticas y astronomía, así como director del Observatorio del Ebro después de 1939.

Este texto lo considero uno de los más clarificadores sobre el desarrollo conceptual de la ley einsteniana de la gravitación. Por ejemplo, un aspecto cuya importancia creo ha pasado desapercibida por muchos historiadores de la relatividad, es el que, con la nueva teoría de la gravitación, la trayectoria de un planeta se corresponde con su movimiento en libertad siguiendo la línea geodésica establecida por la geometría del espacio-tiempo, de tal forma que dicha geodésica se traduce en la órbita planetaria correspondiente. Este hecho explicaría la causa de que en la superficie de la Tierra cuerpos de diferente peso caigan con la misma aceleración, lo que era un auténtico enigma, según Romaña, en la teoría clásica y que ahora “queda aquí fácilmente aclarado”.

La reconstrucción que hace Romaña del proceso de obtención de las ecuaciones de campo es, desde mi punto de vista, una de las más didácticas que conozco. Partiendo de la invariancia del elemento lineal de Minkowski, y aplicándolo a sucesos muy próximos, se obtiene la expresión diferencial ya conocida  $ds^2 = \eta_{ik} dx^i dx^k$ , donde las  $\eta_{ik}$  forman el sistema de componentes, denominados covariantes, del ente matemático conocido como tensor métrico fundamental, cuyas componentes en principio son cero para  $i \neq j$ . Pero este esquema se debe extender a un observador que escoja cuatro coordenadas curvilíneas  $\xi^i$ , funciones de las rectilíneas  $x^i$ , manteniendo invariante el elemento diferencial de línea, que ahora tendrá la expresión  $ds^2 = g_{ik} d\xi^i d\xi^k$ , en donde las nuevas componentes  $g_{ik}$  del tensor métrico fundamental ya no serán constantes como las  $\eta_{ik}$ , sino funciones del punto  $x^i$  ó  $\xi^i$  según se trate de coordenadas rectilíneas o curvilíneas generales. Einstein contempló que esta expresión del  $ds^2$  se debe cumplir siempre que haya o no campos gravitatorios y tanto si las funciones  $g_{ik}$  son tales que el espacio que determinan sea euclídeo o no. Pero como el principio de relatividad general exige que las leyes de la naturaleza tengan la misma expresión para todos los observadores, es decir que sean invariantes (si las ecuaciones son de carácter escalar) o covariantes (si lo son de carácter vectorial), y para cualquier transformación de coordenadas de espacio y tiempo, dedujo Einstein la necesidad de acudir a un tipo de geometría más general que la euclidiana, ya que ésta no podía cumplir con dicha invariancia, como es la geometría diferencial de Riemann, en la que la métrica del espacio no depende de las características de un espacio preexistente, sino de las fuerzas de cohesión entre los cuerpos presentes en él.

---

<sup>10</sup> En concreto desde página 45 a 52.

En definitiva, igual que para Mach sin materia no hay inercia, para Einstein sin materia no hay espacio y éste consiste en una serie de propiedades a que quedan sometidos los movimientos (órbitas de astros, propagación de la luz) en cuanto aparece la materia y la inercia. Estas propiedades se deben representar por una variedad geométrica de cuatro dimensiones, cuyas geodésicas son precisamente las trayectorias de los cuerpos materiales y los rayos luminosos. El problema es determinar la naturaleza de esta variedad geométrica por medio de las funciones  $g_{ik}$ , funciones que deben depender tanto de la presencia y distribución de la materia como de la propia geometría particular y cuya métrica constituyen las  $g_{ik}$ , funciones a las que Einstein dio el nombre de potenciales gravitatorios, ya que de su determinación resultará la nueva teoría de la gravitación.

Según explica Romañá, la ley newtoniana de la gravitación es derivable de la única función que constituía el potencial escalar clásico  $V$ , el potencial que determina el campo gravitatorio producido por una masa. Esto se traduce, para el vacío, en la conocida ecuación de Laplace  $\Delta V=0$  y, para una presencia de densidad material  $\rho$ , en la ecuación de Poisson  $\Delta V= 4\pi G\rho$ . Por analogía, Einstein pensó que el potencial tenía que venir caracterizado por el sistema de las funciones  $g_{ik}$ , por lo que debía ser de carácter tensorial. El recurso a este tipo de potenciales se basa en que con ningún otro método de cálculo posible logró Einstein obtener unas leyes covariantes respecto de cualquier cambio de sistema de referencia (incluso cambios de coordenadas no lineales), condición que formaba parte del principio de relatividad del que se partía. Como indica Romañá

Afortunadamente la herramienta poderosa con que Einstein iba a obrar maravillas en el manejo de tales potenciales gravitatorios de índole tensorial, estaba preparada y no era otra cosa que el cálculo diferencial absoluto o análisis tensorial que poco antes habían desarrollado Ricci y Levi-Civita.<sup>11</sup>

La expresión tensorial buscada para el vacío debía ser equivalente a la de Laplace, por lo que, para mantener una estructura similar, no debía contener derivadas del potencial de orden superior a dos (ya que la de Laplace cumplía con esta característica). En definitiva, el tensor del primer miembro sólo debe tener como componentes los potenciales  $g_{ik}$  y sus derivadas primeras y segundas respecto de las coordenadas, y dichas componentes deben estar combinadas de modo homogéneo y lineal. Encontró Einstein que el tensor más sencillo que cumplía estas ecuaciones era el de cuarto orden de Riemman-Christoffel,  $G_{ik\lambda\mu}$ , definido como

$$G_{ik\lambda\mu} = g_{\nu\mu} \left( \frac{\partial \Gamma_{\lambda i}^{\nu}}{\partial x^k} - \frac{\partial \Gamma_{\lambda i}^{\nu}}{\partial x^j} - \Gamma_{\rho i}^{\nu} \Gamma_{\lambda k}^{\rho} + \Gamma_{\rho k}^{\nu} \Gamma_{\lambda i}^{\rho} \right)$$

siendo los  $\Gamma_{ik}^{\lambda}$  los símbolos de Christoffel de primera especie en función del tensor métrico:

<sup>11</sup> Antonio Romañá, *Idea sobre el estado actual de la cosmología*, Publicaciones del Observatorio del Ebro, Tortosa, 1966, p. 49.

$$\Gamma_{ik}^{\lambda} = \frac{1}{2} \bar{g}^{\lambda\mu} \left( \frac{\partial \bar{g}_{i\mu}}{\partial \bar{x}^k} + \frac{\partial \bar{g}_{k\mu}}{\partial \bar{x}^i} + \frac{\partial \bar{g}_{ik}}{\partial \bar{x}^{\mu}} \right)$$

cumpléndose que  $g^{ik}g_{k\lambda} = \delta_i^{\lambda}$  (0 para  $i \neq \lambda$  y 1 para  $i = \lambda$ ), a las  $g_{ik}$  se las denomina componentes covariantes del tensor métrico y a las  $g^{ik}$  las contravariantes, que constituyen la matriz inversa de las anteriores.

La ecuación diferencial de la geodésica puede escribirse en función de los símbolos de Christoffel y se obtiene aplicando el método de Euler-Lagrange a la ecuación variacional

$\delta \int ds = 0$ , con lo que se obtiene la expresión

$$\frac{d^2 x^{\lambda}}{ds^2} + \Gamma_{ik}^{\lambda} \left( \frac{dx^i}{ds} \right) \left( \frac{dx^k}{ds} \right) = 0$$

Einstein comprobó que la anulación de las componentes de este tensor implicaban una variedad pseudo-euclídea cuyas geodésicas eran rectas (lo que no era válido para describir la trayectoria de los planetas). Recurriendo al tensor contraído de Riemann-Christoffel, conocido también como tensor de Ricci, dado por  $G_{i\lambda} = g^{k\mu} G_{ik\lambda\mu}$ , logró que las geodésicas fueran cónicas. De esta forma obtuvo Einstein las ecuaciones que debían satisfacer los potenciales gravitatorios en el vacío,  $G_{ik} = 0$ , que es un sistema de diez ecuaciones en derivadas parciales de segundo orden, una para cada uno de los componentes  $g_{ik}$ .

De la misma forma, para un espacio con materia, se debían encontrar unas ecuaciones equivalentes a las de Poisson, para lo que Einstein pensó que la presencia de materia en el segundo miembro no podía expresarse mediante el escalar  $\rho$  asociado a la densidad material, ya que no era invariante Lorentz. Por lo tanto, planteó un tensor que diese cuenta del contenido físico del espacio-tiempo y que fuera covariante respecto de cualquier cambio de coordenadas. Este tensor debía contemplar la densidad de materia y/o de energía (por la equivalencia masa-energía establecida en la relatividad restringida), la densidad del momento lineal y el tensor de tensiones. A este tensor lo denominó tensor energético de la materia, hoy conocido como tensor de energía-impulso. Para el caso de un fluido perfecto y en reposo respecto al sistema de referencia considerado, sus componentes son

$$T_{00} = \rho; T_{0i} = T_{i0} = 0; T_{ik} = -p g_{ik}/c^2 \text{ (con } i, k = 1, 2, 3), \text{ siendo } \rho \text{ la densidad y } p \text{ la presión.}$$

Luego, como señala Romañá, el equivalente a la ecuación de Poisson debe ser  $G_{ik} = k T_{ik}$ , donde  $k$  era una constante por determinar. El problema era que, por homogeneidad en las ecuaciones, el tensor del primer miembro debía ser del mismo carácter que el del segundo, por lo que se debía anular su divergencia, lo que no cumplía el tensor de Ricci. La condición de la anulación de la divergencia del tensor de energía-impulso se deduce de que debe satisfacer los principios clásicos de conservación de la masa, energía y cantidad de movimiento, así como la covariancia del cuadvector energía-momento. Todo ello sólo se cumple con la anulación de la divergencia, es decir que las derivadas covariantes cumplan la expresión  $DT^{ik}/Dx^k = 0$ .

Por lo tanto, buscó Einstein una modificación en el primer miembro para que cumpliera dicha condición. Para ello lo más sencillo era la formación, a partir del tensor de Ricci, de un tensor de la forma  $G^*_{ik} = G_{ik} + ag_{ik}G$  que cumplía dicha condición (donde  $a$  es una constante por determinar y  $G$  es el escalar de curvatura dado por  $G = g^{ik}G_{ik}$ ). Se puede demostrar que para la anulación de la divergencia de  $G^*_{ik}$ , el valor de la constante  $a$  es  $-1/2$ . Por otro lado la constante  $K$  de la expresión inicial también se puede demostrar que debe ser  $-8\pi G/c^2$ . De esta forma se obtiene la famosa ecuación de Einstein de la relatividad general, conocida como las ecuaciones de campo

$$G_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}G = -\frac{8\pi G}{c^2}T_{ik} \quad (\text{donde } G, \text{ con cursiva, indica la constante de gravitación newtoniana})$$

Una vez más la interpretación de Romañá es brillante:

Lo notable de esta ecuación tensorial es que se puede interpretar en los dos sentidos, tanto de izquierda a derecha, mostrando de qué forma queda afectada la Geometría por la presencia de la materia, como de derecha a izquierda, haciendo ver cómo la energía y el momento tienen que cumplir las leyes bien conocidas de conservación, de resultados de su conexión con magnitudes geométricas que se conservan automáticamente. La tan ponderada elegancia de estas ecuaciones está precisamente en esta combinación de la ecuación de Poisson y las leyes de conservación de la dinámica clásica, quedando así patentizada la conexión de dos leyes de la Naturaleza, consideradas siempre antes como enteramente independientes la una de la otra. Si se considera que como ya hemos advertido antes, a ello se había llegado con sólo aplicar el principio de covariancia universal al hecho de experiencia de que siempre y en todas partes la masa inerte y la masa gravitatoria valen lo mismo y a ello se añaden los éxitos ya mencionados de la nueva teoría en la explicación de los mismos fenómenos que había explicado la clásica ley de Newton y de varios otros, ante los que ésta había resultado impotente, a nadie maravillará el enorme crédito que enseguida cobraron y que, consideradas como la mejor interpretación de las propiedades locales del Universo a escala de los sistemas estelares, se mirasen como el mejor punto de partida para intentar su explicación a escala de las nebulosas extragalácticas.<sup>12</sup>

Esta interesante reflexión le sirve a Romañá para entrar en detalle en los diferentes sistemas cosmológicos establecidos a partir de la relatividad, lo que trato más adelante en el apartado específico dedicado a las cosmologías relativistas.

El principal opositor a la relatividad en España, Julio Palacios, también consideró aspectos del origen de la relatividad, aunque no de forma específica, sino puntualmente a lo largo de sus muchos escritos para defender su propuesta alternativa y atacar la de Einstein. En concreto su atención estaba centrada en el siempre interesante problema histórico de la prioridad en la adjudicación de las novedades.

---

<sup>12</sup> Antonio Romañá, *Idea sobre el estado actual de la cosmología*, Publicaciones del Observatorio del Ebro, Tortosa, 1966, p. 52.

Como parte de su intento de desprestigiar la contribución de Einstein, defendió la prioridad para Lorentz y Poincaré en cuestiones clave de la relatividad. Esto lo he desarrollado en detalle en el apartado 4.4, dedicado en exclusiva a Palacios.

Sobre este interesante aspecto de la prioridad en el origen de la relatividad, también reflexionó Leonardo Villena, quien hace suyas las ideas de Whittaker (en su famosa obra *History of the Theory of Aether and Electricity*) del que opina es la fuente “más autorizada”. De esta manera Villena defiende también, como Whittaker, que el principio de relatividad se debe más a Poincaré y Lorentz que a Einstein.<sup>13</sup> Como ya se ha indicado anteriormente, este planteamiento sobre la prioridad es una muestra típica de posicionamientos antirrelativistas o que no han asimilado en toda su profundidad el principio de relatividad einsteniano.

Igualmente, hubo múltiples referencias por parte de varios científicos españoles a la teoría de Dirac, y en concreto su predicción de la existencia del positrón como consecuencia del desarrollo de la electrodinámica cuántica, donde tiene un papel fundamental la aplicación de los principios de la relatividad especial. El desarrollo histórico de la teoría de Dirac viene excepcionalmente narrado en un artículo de 1943 del ingeniero del ICAI Gutiérrez.<sup>14</sup> Es un brillante repaso conceptual y matemático al desarrollo histórico de la teoría de Dirac, aunque no da referencias históricas de los artículos originales en los que fueron apareciendo las correspondientes novedades. Repasemos pues la deducción de la ecuación de Dirac y su desarrollo histórico analizado por el ingeniero español.

La mecánica ondulatoria establecida por Schrödinger, así como la inicial corrección relativista de Sommerfeld, no lograba dar cuenta satisfactoriamente de algunos fenómenos, que en cambio parecían poderse explicar con la hipótesis de asignar al electrón un momento magnético. Esta hipótesis, debida a Uhlenbeck y Goudsmit<sup>15</sup>, establecía que el electrón debía de ser una esfera de electricidad en rotación alrededor de un eje, de tal forma que debía tener un momento cinético y un momento magnético. De esta forma se explicaban fenómenos como el efecto Zeeman anormal o alguna estructura fina del espectro todavía no justificada por la modificación de Sommerfeld. Ante esta insuficiencia de la primigenia mecánica ondulatoria relativista, parecía obligado modificarla para que pudiera tener cabida la hipótesis del momento magnético del electrón o espín.

Pauli introdujo la idea de asociar al electrón más de una función de onda, para poder así asignar magnetismo propio al electrón, (sabemos que la mecánica ondulatoria se basada en asignar una función de onda a cada partícula). En concreto, Pauli propuso dos funciones de onda para el electrón. También propuso que en una transformación de coordenadas debe mantenerse la forma de las ecuaciones de propagación, quedando ligadas las funciones de onda mediante una matriz. El problema es que la

<sup>13</sup> Leonardo Villena, “Sobre la relatividad”, *Physicalia*, nº 37, Marzo 1960, p 3-8.

<sup>14</sup> Enrique Gutiérrez, “La teoría de Dirac en la nueva mecánica ondulatoria”, *Anales de Mecánica y Electricidad. Revista de los ingenieros del ICAI*, v 20, nº 166, May-Jun1943, p133-141; v 20, nº 167, Jul-Ago 1943, p 218-223.

<sup>15</sup> La establecieron en 1925, aunque Gutiérrez no proporciona este dato.

solución propuesta por Pauli no cumplía con la condición de invariancia Lorentz y además, no ofrecía una imagen correcta del espectro de hidrógeno.

Entonces Dirac propuso que al electrón le debían corresponder cuatro funciones de onda, con lo que para encontrar los valores propios de cada operador, había que aplicarle la suma a las cuatro funciones. Además Dirac partió de la ecuación de propagación de la mecánica ondulatoria relativista, que se obtenía sustituyendo las expresiones de la cantidad de movimiento, energía cinética y potencial (siempre en sus formulaciones relativistas) por los correspondientes operadores.

La ecuación que se obtenía en la mecánica ondulatoria relativista inicial era (Gutiérrez realiza toda las deducciones matemáticas, que omito)

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} - \Delta \phi - \frac{4\pi i}{h} \frac{\epsilon V}{c^2} \frac{\partial \phi}{\partial t} - \frac{4\pi i}{h} \sum \frac{\epsilon A_x}{c} \frac{\partial \phi}{\partial x} + \frac{4\pi^2}{h} [m_0 c^2 + \frac{\epsilon^2}{c^2} (v^2 - A^2) \phi] = 0$$

De esta ecuación se pueden obtener las reglas de la estructura fina de Sommerfeld, las reglas de selección sobre los números cuánticos o sobre la repartición de electrones en los diferentes niveles energéticos del átomo.

Al considerar su teoría de asignar cuatro funciones de onda, en vez de una, dedujo Dirac que había que cambiar la expresión de la densidad de probabilidad antigua ( $\phi\phi^*$ ) por la siguiente  $\sum \phi_i \phi_i^*$ , ya que debe incluir las cuatro funciones de onda. Al aplicar las consecuencias de esta nueva densidad de probabilidad llegó a las famosas ecuaciones en forma simbólica

$(p_4 + \alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 + \alpha_3 p_3 + \alpha_4 m_0 c) \phi_k = 0$  ; donde las  $\alpha_i$  son matrices<sup>16</sup> que tienen los siguientes valores

$$\alpha_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad \alpha_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & i \\ 0 & 0 & -i & 0 \\ 0 & i & 0 & 0 \\ -i & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\alpha_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \alpha_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

En su forma explícita las ecuaciones de Dirac son

<sup>16</sup> Se denomina matrices de Dirac, que también se pueden expresar en función de las matrices de Pauli  $\sigma_i$  de la siguiente manera:  $\alpha_i = (\sigma_i, 0, 0, -\sigma_i)$  (con  $i=1,2,3$ ) y  $\alpha_4 = (0 \ 1 \ 1 \ 0)$ . Las matrices de Pauli son las que postuló Pauli en su primer intento de asociar dos funciones de onda al electrón,  $\sigma_1 = (0 \ 1 \ 1 \ 0)$  ;  $\sigma_2 = (0 \ -i \ i \ 0)$ ;  $\sigma_3 = (1 \ 0 \ 0 \ -1)$ .

$$(p_4 - m_0 c)\phi_1 + (p_1 + ip_2)\phi_4 + p_3\phi_3 = 0$$

$$(p_4 - m_0 c)\phi_2 + (p_1 - ip_2)\phi_3 - p_3\phi_4 = 0$$

$$(p_4 - m_0 c)\phi_3 + (p_1 + ip_2)\phi_2 + p_3\phi_1 = 0$$

$$(p_4 - m_0 c)\phi_4 + (p_1 - ip_2)\phi_1 - p_3\phi_2 = 0$$

donde recordemos que  $p$  es el operador correspondiente a la cantidad de movimiento, por ejemplo  $p_x$  se corresponde con el operador,  $-i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$  (siendo  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ) con lo que otra forma de expresar la ecuación de Dirac en forma compacta es

$$\left( i\hbar \frac{\partial}{\partial t} + i\hbar \left( \alpha_x \frac{\partial}{\partial x} + \alpha_y \frac{\partial}{\partial y} + \alpha_z \frac{\partial}{\partial z} \right) + \alpha_4 m_0 c \right) \psi(x, y, z, t) = 0$$

De estas ecuaciones se obtienen los resultados que implican estados de energía negativa, lo que inicialmente Gutiérrez considera un problema, ya que no conocía el descubrimiento del positrón. Posteriormente, el ingeniero español publicó otro artículo, como vamos a ver más adelante, donde da cuenta de que dichos estados negativos se asociarían posteriormente al positrón.

La ecuación de propagación en la nueva mecánica de Dirac es

$$[p_4^2 - \sum p_i^2 - m_0^2 c^2 - \frac{e}{c} \hbar (\alpha_1 E_x + \alpha_2 E_y + \alpha_3 E_z) + \frac{e}{c} \hbar (\alpha_2 \alpha_3 H_x + \alpha_3 \alpha_1 H_y + \alpha_1 \alpha_2 H_z)] \phi = 0$$

donde las  $E_i$  y las  $H_i$  son las componentes del vector eléctrico y magnético ligados al potencial.

De estas ecuaciones se deduce la propiedad del magnetismo propio del electrón y la existencia de un momento eléctrico.

En otro escrito de continuación<sup>17</sup>, refiere Gutiérrez el descubrimiento de los positrones por parte de Anderson en 1932, al observar los choques de la radiación cósmica penetrantes con los cuerpos materiales, gracias a la cámara de Wilson.<sup>18</sup> También se pudieron detectar producción de positrones en el bombardeo artificial de algunos cuerpos mediante un dispositivo acelerador conocido como ciclotrón.

Respecto a la dificultad anteriormente descrita, la existencia de estados de energía negativa, Gutiérrez narra cómo Dirac, entre 1927 y 1932, desarrolló su teoría intentando encontrar una interpretación satisfactoria a sus resultados. En cambio, Schrödinger propuso una modificación de las ecuaciones de Dirac para eliminar los resultados asociados a las ondas de energía negativa, aunque la descartó porque no explicaba la teoría de la difusión de la luz por los electrones. Estando así las cosas, al

<sup>17</sup> Enrique Gutiérrez, "Los positrones y los estados de energía negativa de la teoría de Dirac", *Anales de Mecánica y Electricidad. Revista de los ingenieros del ICAI*, v 21, n° 174, Septiembre-Octubre 1944, p 249-259.

<sup>18</sup> Conocida también como cámara de niebla, un detector de partículas ideado por Wilson en 1911, en el que se pueden visualizar las trayectorias de las partículas mediante placas fotográficas, gracias a un gas ionizable que deja rastros al paso de dichas partículas.



descubrirse el positrón en 1932, Dirac pensó que los estados de energía negativa de un electrón se podían corresponder con estados de energía positiva de un positrón. De esta forma, la posibilidad de que un electrón pudiera tener energía negativa, se sustituía por la de que se transformase en un positrón, lo que en el marco de la mecánica cuántica se podía explicar con cambios bruscos de energía por fenómenos de interacción de partículas, no así en cambio con la mecánica clásica (incluida la relativista). A continuación, Gutiérrez desarrolla toda la teoría matemática para deducir, partiendo de las ecuaciones de Dirac, la existencia de estados de energía negativa.

Resulta igualmente interesante la reflexión que realizó Baltá Elías sobre la recepción de la relatividad, en una sesión celebrada en la Academia de Ciencias madrileña en homenaje a la memoria de Einstein. El discurso de Baltá, recogido en las publicaciones de la Academia<sup>19</sup>, es la típica necrológica alagadora con la figura del homenajeado. Baltá recuerda la conferencia de Einstein en la Academia de Barcelona, a la que asistió personalmente, lo que le sirve para realizar un escueto e interesante análisis de proceso de recepción de la relatividad:

Es bien sabido que ninguna otra teoría moderna (en las que tan fecunda ha sido la media centuria ya transcurrida) ha provocado el entusiasmo...o violenta oposición como la de la Relatividad (entre sus detractores cuéntase el eminente físico Bouasse, quien incluso publicó un folleto titulado "La question préalable contre la theorie d'Einstein", y en Alemania existía años atrás una sociedad para combatir las concepciones einstenianas). No obstante su aparente carencia de utilidad inmediata, la Relatividad, a juzgar por el interés favorable o adverso despertado entre el gran público, paradójicamente podía calificarse de teoría de multitudes o de *masas* (como ahora se dice), ya que es esencialmente minoritaria.

Después de aquella marejada mundial y serenados ya los ánimos, aunque, como era de esperar, queden quienes consideren a la Relatividad como una abstracción matemática, juego más o menos complicado de simbolismos o conjunto de concepciones filosóficas de vanguardia que obligan a nuestra mente a malabarismos desacostumbrados, el hecho es que tal teoría ha adquirido carta de naturaleza en la Ciencia, siendo aplicada corrientemente como herramienta cotidiana de trabajo por millares de físico-químicos de todo el mundo, ocupados lo mismo en evaluaciones energéticas que en desentrañar espectros o en la disección de los átomos.<sup>20</sup>

Vemos como Baltá resume magistralmente las posturas opuestas en la fase de recepción y la asimilación de la relatividad como nuevo paradigma. A continuación, Baltá defiende que no es cierto que la relatividad haya eliminado los absolutos de la ciencia, más bien al contrario, ya que se eliminan "falsos absolutos" creándose nuevos, como el espacio-tiempo, el intervalo espacio-temporal o la isotropía de la propagación de la luz. Según Baltá es precisamente el hecho de que la relatividad

<sup>19</sup> Baltá Elías, José, "Einstein físico universal", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 59, 1955, p103-114.

<sup>20</sup> Baltá Elías, *Ibidem*, p. 104.

“haya contrariado nuestro tan decantado sentido común” lo que ha implicado las controversias en torno a la misma.

Por último, también cabe destacar el esfuerzo de la revista *Ibérica* en los años cuarenta, al publicar varios artículos sobre la historia de la relatividad, a cargo del historiador de la ciencia húngaro y asentado en Argentina, Desiderio Papp. Se tratan brevemente estos escritos en el apartado 4.11 dedicado a las publicaciones de científicos extranjeros en España.

#### 4.3.2. TEORÍAS ESPECIAL Y GENERAL DE LA RELATIVIDAD.

En este apartado voy a realizar un repaso por cuestiones genéricas de relatividad sobre las que publicaron autores españoles, tanto las teorías especial como general, insistiendo en que los casos de Palacios, Maravall y físicos españoles en Francia (Bel, Mas y Capella) los detallo en apartados específicos.

Sin duda, una de las aportaciones más interesantes, por su profundidad teórica y nivel avanzado, es la de Ramón Ortiz Fornaguera (1916-1974), licenciado en Ciencias por las secciones de Físicas y Exactas, así como Doctor en Físicas. Ortiz Fornaguera fue el discípulo predilecto de Terradas, trabajó en 1948 en Italia sobre energía nuclear, en 1950 en el instituto Enrico Fermi de Chicago, donde también perteneció al *Institute for Nuclear Studies* de la Universidad de Chicago, en 1953 y 1954 colaboró con Heisenberg en Gotingen sobre reactores nucleares. Perteneció al *Instituto de Óptica* del CSIC y fue miembro de la sección teórica de la *Junta de Energía Nuclear*, siendo premiado por la *R. Acad. Ciencias de Madrid* en 1947 por su memoria *Los espacios métricos en óptica electrónica*. Fue colaborador habitual en *Anales de Física*, así como traductor de libros fundamentales en la literatura de física, entre otros el famoso *Teoría Clásica de Campos* de Landau y Lifshitz o *Fundamentos Matemáticos de la Mecánica Cuántica* de Von Newman. Era un autor con autoridad reconocida en física teórica, especialmente en física nuclear y también con temas relacionados con la relatividad, como la teoría de Dirac y la Electrodinámica Cuántica, siendo de los pocos científicos españoles que entró en polémica con Palacios, criticando su propuesta alternativa a Einstein.

Resulta de gran interés su trabajo de 1948 aparecido en *Anales* y denominado “Densidades escalares y leyes de conservación”<sup>21</sup>, donde demuestra, usando el cálculo diferencial absoluto aplicado a la relatividad general, que las leyes conservativas desarrolladas por Eddington en el ámbito de la gravitación relativista no son más que un caso particular de la ley de conservación de un ente físico general representado por su correspondiente tensor. Esta ley conservativa general se demuestra mediante la anulación de la divergencia del tensor asociado al ente físico. Además, Ortiz prueba que la aplicación desarrollada por Eddington para la métrica del

---

<sup>21</sup> Ortiz Fornaguera, *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* 1948 v 44-A págs 327 a 338.

espacio en relatividad general también era un caso particular de los espacios riemannianos.

Aunque Ortiz desarrolló su carrera profesional en temas de óptica electrónica y física nuclear, tenía un gran interés por los aspectos teóricos de las teorías de campos, profundizando en esta materia con dos trabajos aparecidos en 1952. En concreto, trabajó sobre el formalismo canónico de la teoría de campos, intentando buscar una teoría válida para cualquier tipo de campo, concluyendo que el formalismo canónico no exige que se deba atribuir al espacio una determinada estructura, es decir que es válido para cualquier tipo de espacio.<sup>22</sup>

También consideró Ortiz, en un avanzado trabajo teórico relacionado con el formalismo de Dirac y el de la relatividad, las propiedades de las hipersuperficies espaciales parametrizadas, así como su comportamiento en deformaciones infinitesimales<sup>23</sup>. El motivo de este estudio lo justifica en la importancia que tienen dichas superficies para el formalismo relativista. Realmente es un estudio de teoría cuántica de campos por lo que se analiza en detalle en el apartado 3.4.4 “Física cuántica y relatividad”.

En materia directa sobre relatividad, además del libro conjunto con Terradas ya citado, Ortiz publicó dos artículos, en 1964 y 1965, para rebatir la propuesta alternativa de Palacios, entrando directamente en debate y postulándose claramente en defensa de la teoría relativista. Por su interés, se trata en profundidad en el apartado dedicado a los debates relacionados con dicha propuesta antirrelativista del físico español. Es importante señalar que Ortiz, como muchos otros físicos españoles que no trabajaron directamente sobre relatividad, sino en otras disciplinas de física aplicada, cuando había alguna relación indirecta con la teoría einsteniana, asumían ésta completamente sin ninguna consideración explícita a la validez de la misma, es decir como teoría completamente asimilada. Por ejemplo, en un trabajo sobre óptica electrónica de 1948, estudió Ortiz las ecuaciones de distribución de potencial en lentes electrónicas, donde consideraba que en potenciales superiores a 10Kv había que aplicar correcciones relativistas, aunque en este caso particular en estudio no las aplicaba por ser el potencial menor de dicho valor y no ser, por tanto, necesario.<sup>24</sup>

En conclusión, resulta de gran mérito el intento de Ortiz de generalizar la teoría de campos a nivel teórico, conteniendo como caso particular el campo gravitatorio de la relatividad general.

Como he indicado anteriormente, en la literatura española sobre relatividad es determinante el libro *Relatividad* de Terradas y Ortiz Fornaguera, con multitud de aspectos originales, no en cuanto a aportación científica a las teorías relativistas, pero

---

<sup>22</sup> Ortiz Fornaguera, “Sobre la variancia de las magnitudes en el formalismo canónico”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 46, 1952, p 137-156.

<sup>23</sup> Ortiz Fornaguera, “El análisis funcional con relación al formalismo de Dirac para sistemas dinámicos localizables”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 46, 1952, p 315-346.

<sup>24</sup> Ortiz Fornaguera, R. “Acerca de unas fórmulas de Picht en óptica electrónica” *Anales Soc. Esp. Física y Quím, Serie A- Física*, v 44A, 1948, p 70-79.

sí en cuanto al tratamiento de las mismas<sup>25</sup>. Por ejemplo, nos informan sus autores de pruebas recientes en el ajuste de una curva teórica con las abscisas  $v/c$  y las ordenadas  $m/m_0$ , llegándose a velocidades para los electrones que difieren de la luz en menos de un décimo de su valor, gracias al uso de grandes potenciales aceleradores que comunican al electrón una energía cinética de 20.000 eV. Sus propias palabras son clarificadoras al respecto:

Con partículas de masa en reposo mayor que la de los electrones, nucleones por ejemplo, son necesarias energías mucho mayores para conseguir grandes velocidades y con ello poner de manifiesto la dependencia de  $m$  respecto de  $v$ , energías que llegan a 10MeV.

Parece ser que no se ha logrado aun probar directamente y con certeza la validez de la relación Lorentz-Einstein en el caso de corpúsculos pesados, ni aun acudiendo al empleo de los aceleradores más potentes (ciclotrones). En cambio la nucleónica aporta datos muy interesantes con vistas a confirmar la relación de Einstein entre masa y energía:  $E=mc^2$ .<sup>(26)</sup>

Terradas y Ortiz desarrollan la teoría sobre la inercia de la energía de una forma brillante:

La masa inerte  $m$  de un corpúsculo en movimiento aparece como resultante de una magnitud intrínseca  $m_0$ , la que se ha llamado masa en reposo, y la contribución  $E/c^2$  de su energía cinética. Todo ocurre, por ende, como si el aumento de energía del corpúsculo debido a su movimiento se tradujera en un aumento de masa inerte, siendo la cuantía de éste igual al cociente del incremento de energía por el cuadrado de la velocidad de la luz.

A decir verdad, la relación general  $E=mc^2$  no viene impuesta necesariamente por los postulados primeros de la relatividad restringida, aunque sí es cierto que las consecuencias de éstos la sugieren y son compatibles con ella, por ejemplo en el caso de la energía cinética. A favor de la misma hablan hoy buen número de hechos en el dominio de los fenómenos de transmutación atómica, en el de las reacciones nucleares, en el de la escisión de núcleos muy pesados.<sup>27</sup>

Hasta aquí, Ortiz y Terradas han admitido la relación  $m=m_0 (1-v^2/c^2)^{-1/2}$  en calidad de resultado experimental. A continuación, detallan cómo esta relación de la masa relativista puede ser deducida de los dos principios relativistas más otros dos nuevos, el de conservación del impulso y el de la conservación de la energía. Del desarrollo detallado que realizan<sup>28</sup> se llega a la conclusión que, al definir la relación entre masa y fuerza mediante la aceleración, aparecen dos tipos de masa, la longitudinal y la transversal, lo que según ellos es una complicación conceptual innecesaria. En cambio, al hacerlo a través de la noción de impulso, interviene una sola masa que coincide con la masa transversal en el primer sentido. Conviene aclarar que como

<sup>25</sup> En adelante sintetizo estas aportaciones originales en España. Evidentemente, al ser una obra global sobre relatividad, la mayor parte del contenido es similar al de obras anteriores ya analizadas, por lo que lo omito.

<sup>26</sup> Terradas y Ortiz Fornaguera, *Relatividad*, Espasa-Calpe Argentina S.A, Buenos Aires, 1952, p. 79.

<sup>27</sup> Terradas y Ortiz, *Ibidem*, p. 82 y 83.

concepto de masa, hoy se entiende sólo el de masa en reposo y no el de masa relativista.<sup>29</sup>

Para el desarrollo de la dinámica relativista, en nota al pie refieren que para resolución de problemas dinámicos relativistas, se consulte el libro de Puig Adam de 1922, lo que es un ejemplo de la importancia de este libro, ya analizado anteriormente en el capítulo tercero.

El efecto fotoeléctrico y el efecto Compton, sin ser consecuencia de la teoría de la relatividad, son, en parte, aplicaciones de ésta, como lo demuestran Terradas y Ortiz. Por ejemplo, aparecen las fórmulas relativistas para el impulso,  $p=m_0v(1-v^2/c^2)^{-1/2}$ , y la energía,  $m_0c^2$ , al aplicar los correspondientes teoremas de conservación en la explicación de dichos efectos. Tratan también los aspectos de la mecánica cuántica que pudieran estar relacionados con la relatividad, como por ejemplo la explicación de la estructura fina del espectro atómico del hidrógeno.

Sobre el electromagnetismo, Terradas y Ortiz comprueban que las ecuaciones de transformación de Lorentz dejan invariantes las ecuaciones de Maxwell. Además, al aplicar dichas transformaciones a los vectores velocidad, campo eléctrico y campo magnético, así como a la densidad de carga, se induce a considerar que las componentes  $E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$  pueden ser las componentes de un tensor antisimétrico de segundo orden en el espacio-tiempo, aunque de momento sólo se puede ver esta aplicación como puramente formal.

En cuanto a la relatividad general, se analiza en detalle el principio de equivalencia, del que me parece interesante destacar el siguiente párrafo:

El nuevo principio puede ser o no ser válido en general, pero de serlo, su eficacia desde el punto de vista heurístico es innegable; porque, en tanto se pueda calcular la marcha de los fenómenos en un sistema de referencia acelerado, quedará con ello resuelto el problema de determinar la influencia de un campo gravitatorio uniforme sobre los fenómenos físicos no gravitatorios, por ejemplo la propagación de la luz, y todo con sólo aplicar dicho principio.<sup>30</sup>

He considerado de interés esta reflexión, ciertamente ambigua, por el hecho de que los autores se hacen eco de la visión crítica que Milne hizo en 1935 de la relatividad, respecto al problema de la interpretación física de las cuatro variables  $x^i$ , sobre la que incluso se planteaba podían carecer de interpretación física. Milne consideraba esta dificultad por el planteamiento siguiente: en una variación infinitesimal se puede aproximar el campo gravitatorio en el marco de la relatividad especial, ya que, en virtud del principio de equivalencia, puede existir un sistema de referencia en el que en su entorno no se manifieste la influencia del campo gravitatorio y sea válida, pues, la relatividad restringida. Refieren también los trabajos de Barajas, Birkhoff, Graef y Sandoval basados en la nueva teoría de la gravitación de Birkhoff.<sup>31</sup> Sobre esta teoría

---

<sup>28</sup> Terradas y Ortiz, *Ibidem*, p. 83 a 89.

<sup>29</sup> Ver Andrés Rivadulla, "The newtonian limit of relativity theory and rationality of theory change", *Synthese*, v 141, 2004, p. 317-429.

<sup>30</sup> Terradas y Ortiz, *Ibidem*, p. 120.

<sup>31</sup> Terradas y Ortiz, *Ibidem*, p. 123.

volveremos más adelante, ya que el análisis más completo fue el realizado por Alfonso Capella, lo que trato en detalle en el apartado 4.5, dedicado a los físicos catalanes en Francia.

Haciendo la comparación con la física clásica, en el caso relativista, sugieren Ortiz y Terradas la hipótesis, según la cual, la línea del universo de un punto material no sometido a otras fuerzas que las gravitatorias es una geodésica del espacio-tiempo. Para el caso de la luz, cuyos componentes no tienen masa, la línea del universo será una geodésica de longitud nula.

La justificación de los autores para la introducción del cálculo tensorial en la relatividad es, una vez más, clarificadora:

Las proposiciones geométricas enunciadas en términos de coordenadas han de decir lo mismo cualquiera que sea el sistema de éstas. El instrumento idóneo para su formulación es el álgebra y el análisis tensorial. No es maravilla, por lo tanto, que las magnitudes físicas y geométricas encuentren su representación analítica más adecuada en los tensores, y las leyes físicas y geométricas en ecuaciones tensoriales: si éstas se cumplen en un sistema de referencia particular, cúmplase también en cualquier otro sistema.<sup>32</sup>

Para Terradas y Ortiz, el principio de relatividad y el de equivalencia son los postulados básicos de la teoría einsteniana. Pero, para ellos, mientras el primero tiene un carácter fundamental, el segundo es más bien heurístico y puede inducir a equívocos. El motivo lo justifican nuestros protagonistas de la siguiente forma:

La teoría de la relatividad restringida es válida únicamente en aquellas regiones del espacio-tiempo en las que cabe definir un sistema de referencia con relación al cual las componentes del tensor métrico  $g_{ik}$  son constantes. Para que ello sea posible es necesario y basta que en la región de que se trata sea nulo el tensor de curvatura.(...) La región se llama entonces *plana* y es en las regiones planas y sólo en ellas donde vale la relatividad restringida según Einstein. Ahora bien, supongamos que las leyes a que obedece un cierto fenómeno físico se han establecido para una región del universo en el que el tensor de curvatura es nulo—por ejemplo, las leyes de la relatividad restringida. La generalización de dichas leyes a regiones del mismo en que dicho tensor no sea cero no siempre será legítima, en particular no lo será si la expresión correcta contiene el tensor de curvatura. Al aplicar el principio de equivalencia para obtener las leyes de los fenómenos físicos dentro del marco de la relatividad general, se recurre a la existencia del sistema  $\Sigma_p^*$  en el que, al anularse *localmente* el campo gravitatorio, vale la relatividad restringida en el entorno de P. Pero esta validez es sólo aproximada y hay que fijar el orden de aproximación. (...) Lo que afirma el principio de equivalencia es que *algunas* de las ecuaciones diferenciales fundamentales de la física son las mismas para una región en la que el tensor de curvatura sea distinto de cero. Entre ellas *se admite* que figuran las que rigen el movimiento de un punto material libre y la trayectoria de un rayo

---

<sup>32</sup> Terradas y Ortiz, *Ibídem*, p. 130.

luminoso. Mas es evidente que debe haber fenómenos que obedecen a ecuaciones en las que aparece el tensor de curvatura, de lo contrario no habría posibilidad alguna de conocimiento de la curvatura del universo. A esta clase de fenómenos no es aplicable el principio de equivalencia.<sup>33</sup>

Desarrollan igualmente las ecuaciones del campo gravitatorio, obteniendo las ecuaciones de campo normales y las que incluyen “el tan famoso como discutido *término cósmico*”, destacando que, aunque Einstein lo rechazó, otros autores como Eddington lo mantienen. Plantean los autores españoles que la solución a dichas ecuaciones no es única, considerando la establecida por Brillouin para la determinación del campo gravitatorio interior y exterior originado por una masa esférica de fluido perfecto en reposo. También consideran el caso para la solución del campo gravitatorio de una esfera másica homogénea fija, que da el valor del corrimiento del perihelio en las órbitas elípticas, solución resuelta de forma aproximada por Einstein pero cuya resolución rigurosa se debe a Schwarzschild. Con relación a los cálculos y las observaciones, refieren recientes trabajos de Clemence, “The relativity effect in planetary motions” (*Rev. Mod. Phys.*, 1947). Para el caso de la deflexión de la luz también dan referencias actualizadas de 1932. Vemos que siguiendo estas referencias podemos tener un cuadro de la parte experimental sobre la relatividad en esos años.

El final de la obra de Terradas y Ortiz es brillante porque refleja la importancia de considerar la relatividad como una teoría consolidada pero abierta, en el sentido de los posibles campos de aplicación y problemas todavía pendientes de resolver:

La complejidad y la rigidez de los modelos de espacio-tiempo inventados para dar de los fenómenos físicos una interpretación geométrica, han conducido a muchos científicos a volver al espacio-tiempo de Minkowski, principalmente cuando se trata de lo que ocurre en el microcosmos. Hablamos de rigidez, porque el descubrimiento de cada nueva categoría de entes -partículas de Dirac o mesones, por ejemplo- obliga a modificar el esquema geométrico y a crear nuevas formas conceptuales de espacio-tiempo. Sin embargo, no cabría esgrimir esto como objeción si los modelos resultantes fueran conceptualmente más simples y prácticamente más manejables. Pero, de acuerdo con lo que ya dijimos, encuadrar lo cuántico en el marco relativista, aun limitándose a la relatividad especial, presenta dificultades todavía no resueltas, dificultades que se multiplican si pretendemos hacerlo en el de la general. De hecho quedan muchísimos obstáculos por vencer y es prematuro hablar de un análisis relativista de buen número de fenómenos, no ya en el mundo de los corpúsculos elementales – el problema de la interacción entre la luz y la materia, por ejemplo, o el de las relaciones entre luz y gravitación –, sino incluso en el macrocosmos, tal como el problema de los dos cuerpos. Con todo, la contribución de los científicos a esos temas es incesante y es de esperar que se aclaren, si bien sea lentamente, los enigmas que hoy se plantean a la ciencia

---

<sup>33</sup> Terradas y Ortiz, *Ibidem*, p. 131 y 132. Para esta interpretación dan la referencia de Eddington, *The mathematical theory of Relativity*, 1923, p 39-41 y p 77.

contemporánea, aun convencidos de antemano de que surgirán otros nuevos arrastrados por aquellos que se vayan resolviendo.<sup>34</sup>

Otro de los autores que se aproximaron a temas generales sobre relatividad fue Enrique Belda. Como ya se ha indicado, sus manuales, aun tratando en profundidad la relatividad, no incluyen novedades que resaltar, salvo algunos ejemplos que son dignos de mención. Me refiero a su obra *Mecánica clásica y moderna, vol II* (Bilbao, 1950). Uno de ellos es la demostración que realiza de que la ecuación de ondas de D'Alambert se conserva bajo las transformaciones de Lorentz, es decir si para el sistema S tenemos que

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = 0$$

entonces para el S'

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z'^2} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t'^2} = 0$$

También considera y desarrolla Belda aplicaciones concretas como casos particulares de movimiento en relatividad restringida, y en relatividad general el complejo problema del disco que gira respecto a un sistema inercial. Para la relatividad general desarrolla Belda el formalismo tensorial que ha explicado previamente en el volumen I, deduciendo las ecuaciones de gravitación de Einstein. Considera varios casos particulares, en los que realiza todo el desarrollo matemático correspondiente<sup>35</sup>, como son: ecuaciones de un campo de gravitación de un centro material; ecuaciones del movimiento de un punto material en un campo de gravitación; movimiento de un punto material en el campo de gravitación creado por otro; retardo del perihelio de Mercurio; desviación de la luz en un campo gravitatorio; influencia de la gravitación en el curso del tiempo. En este último caso plantea el corrimiento al rojo del espectro de una fuente gravitatoria, indicando que “diversas experiencias efectuadas por Perot, Fabry y Buisson, parecen confirmar este resultado.”

Un trabajo más interesante, en cuanto a novedad en España, es la presentación en 1951, por parte de Antonio de Castro Brzecicki, de una memoria en la Academia de Ciencias de Madrid, denominada “Introducción a la Dinámica del punto de masa variable”<sup>36</sup>. De Castro analiza, partiendo de la ley fundamental de la dinámica clásica ( $F=mdv/dt$ ) donde se considera la masa constante, la dinámica relativista donde la masa es variable, con lo que la expresión de dicha ley fundamental debe ser de la forma  $dmv/dt$ . Pero se puede considerar también esta expresión en el ámbito de la Mecánica clásica cuando la masa varía con el tiempo, por ejemplo en astros que aumentan su masa por caída de meteoritos o en cohetes donde la masa disminuye por consumo del combustible.

<sup>34</sup> Terradas y Ortiz, *Ibidem*, 1952, p. 170.

<sup>35</sup> Belda, Enrique, *Mecánica clásica y moderna, vol II*, Bilbao, 1950, p. 630 a 649.

<sup>36</sup> Castro Brzecicki, A., “Introducción a la Dinámica del punto de masa variable”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 45, 1951, p 45-89.



Este problema está relacionado con el clásico de los dos cuerpos y en su solución avisa Castro que algunas de las conclusiones son válidas para la relatividad, donde la masa varía con la velocidad. Con el propósito de elaborar una teoría de carácter general, para dicha solución, en el ámbito de la física clásica hace uso Castro de la dinámica analítica. En definitiva, es un trabajo de física clásica basado en la dinámica analítica, en el que algunas conclusiones son válidas para la física relativista. La primera es la aplicación de los principios variacionales de Gauss y Hertz a las ecuaciones canónicas del movimiento mediante la dinámica analítica, es decir en coordenadas generalizadas. Los principios indicados anteriormente consisten en sustituir el concepto de fuerza por el de enlaces entre cuerpos, de tal forma que el movimiento de una partícula es el que hace mínima la constricción de dichos enlaces en un intervalo suficientemente pequeño. Al considerar una variación infinitesimal que no modifique el tiempo, se llega a la conclusión de que se debe mantener estacionaria la siguiente cantidad  $\gamma = [F - dm v/dt]^2/m$ , de tal forma que el movimiento de una partícula de masa variable es aquel que hace mínima la expresión anterior.

Al aplicar el criterio de mínimo (anulando la segunda derivada de la expresión de la trayectoria), deduce Castro que dicha trayectoria debe ser mínima entre todas las compatibles con enlaces. Este es el principio de mínima curvatura, lo que implica que si la partícula se mueve sobre una superficie lisa, la trayectoria debe coincidir con la curva geodésica de la misma. Aunque aquí Castro no cita la relación con la teoría de Einstein, fijémonos que en relatividad general las trayectorias de las partículas deben coincidir con las geodésicas del espacio en que se mueven.

La segunda conclusión de Castro se deduce al aplicar el resultado obtenido al cálculo del movimiento relativo entre dos sistemas de referencia. Aun partiendo de los principios de la física clásica, de la ecuación obtenida concluye que “en el caso de la masa variable, no es, en general, cierto el principio de relatividad galileana”. El motivo es que en este caso, el de masa variable con el tiempo, no es válida la ley de inercia.

Una de las más originales formas de presentar los principios básicos de la relatividad especial fue realizada en 1958 por Garrido Arilla en su obra *Cinemática Cuántica Relativista*<sup>37</sup>. Garrido era doctor en físicas, catedrático de *Física Teórica* en la Universidad de Barcelona y Director del *Instituto de Física Teórica* del CSIC durante los años sesenta. El planteamiento de la relatividad restringida de Garrido es original: considera que la interacción entre dos puntos materiales se hace mediante “señales” que se propagan con una velocidad límite<sup>38</sup>. Esta velocidad de propagación de señales entre sistemas que interactúan debe ser un invariante entre sistemas inerciales y además es un límite para cualquier propagación. Coincide que esta velocidad es la de la luz. Con este criterio, demuestra Garrido que la distancia entre dos puntos en un sistema euclídeo ya no es un invariante. Ahora el invariante es, en un espacio ficticio tetradimensional, llamado espacio de Minkowski, el intervalo equivalente  $ds^2 = \sum dx_\mu^2$ , con  $x_1=x$ ;  $x_2=y$ ;  $x_3=z$ ;  $x_4=ict$ . Este invariante lo denomina invariante fundamental.

<sup>37</sup> L.M. Garrido, “Cinemática cuántica relativista”, *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*, tomo 13, fasc 2º, 1958, p 197-263; tomo 14, fasc. 1, 1959, p 9-72.

<sup>38</sup> Esta idea es la misma que la expuesta por Landau en su *Teoría Clásica de Campos*, cuya primera edición española es de 1966.

Dicho invariante lo es bajo transformaciones de Lorentz, que representan una rotación en el espacio de Minkowski, y son de la forma  $x'_\mu = a_{\mu\nu} x_\nu$ . Con la condición del invariante demuestra que dichas transformaciones forman un grupo, es decir que cumple dos condiciones:

1<sup>a</sup>) Si representamos el conjunto de  $a_{\mu\nu}$  por la matriz  $\mathbf{A}$ , se demuestra que  $\mathbf{A}^t = \mathbf{A}^{-1}$  (la matriz traspuesta es igual a la inversa) y  $\mathbf{A}\mathbf{A}^{-1} = \mathbf{I}$  (Matriz identidad).

2<sup>a</sup>) El producto de transformaciones de Lorentz sea otra transformación de Lorentz. Es decir si  $x' = Ax$  y  $x'' = Bx'$  entonces  $x'' = BAx = Cx$ . Aunque en general el producto matricial no es conmutativo, su multiplicación sí es asociativa.

En la teoría de Garrido hay dos tipos de transformaciones de Lorentz, las propias (cuyo determinante de la matriz de transformación es positivo) y las impropias (cuando dicho determinante es negativo). Estas últimas no forman grupo, pero son importantes en física porque un tipo de transformación impropia es la inversión espacial y está asociada con la paridad del mundo físico. Es la transformación  $\mathbf{P}$ , donde  $x'_i = -x_i$  ( $i=1,2,3$ );  $x'_4 = x_4$ . Otra transformación impropia importante es la asociada a la inversión temporal,  $\mathbf{T}$ , donde  $x'_i = x_i$ ;  $x'_4 = -x_4$ .

Garrido enuncia de la siguiente forma el Principio de Relatividad: “se expresa diciendo que todas las ecuaciones de la física han de ser covariantes en relación con las transformaciones de Lorentz que no incluyan  $\mathbf{P}$ ”, es decir exceptuando las transformaciones que no conservan la paridad. Justifica esta excepción indicando que se creía que las leyes físicas debían ser covariantes respecto de toda transformación Lorentz, pero en 1957 Lee y Yang demostraron que ciertas interacciones débiles que provocan desintegración  $\beta$  no eran covariantes respecto a la paridad. Esto quiere decir que hay dos mundos físicos, uno dextrogiro y otro levogiro, que son prácticamente iguales excepto por algunas interacciones muy débiles.<sup>39</sup>

Como ejemplo de transformación de Lorentz está la conocida en relatividad especial, cuya matriz  $A=(a_{\mu\nu})$  sería la siguiente

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & iv \\ \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{c^2} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -iv & 0 & 0 & 1 \\ \frac{-iv}{c\sqrt{1-v^2/c^2}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \end{pmatrix}$$

<sup>39</sup> Considero conveniente aclarar los conceptos de invariancia y covariancia. Cuando se transforman covariantemente los vectores y tensores, las ecuaciones asociadas a ellos en las que interviene ecuaciones diferenciales no se transforman, permanecen iguales expresadas en las nuevas coordenadas. En cambio, un escalar que se transforma covariantemente es un invariante. Una ley que se mantiene de la misma forma bajo transformaciones de coordenadas se dice que es invariante. Si además esta ley está expresada en ecuaciones diferenciales (y se sigue conservando) se dice que es covariante. Toda covariancia implica invariancia pero no al revés. Por ejemplo, una transformación sobre ecuaciones puede ser invariante pero si en las derivadas parciales hay alguna preponderancia en la transformación sobre alguna coordenada, entonces dicha transformación no es covariante, aunque sea invariante.

Sobre el efecto Doppler relativista, es significativo un trabajo de M. López Arroyo en 1959, aparecido en uno de los anuarios del Observatorio de Madrid sobre espectroscopia astronómica,<sup>40</sup> en el que se detalla, conceptual y matemáticamente, el efecto Doppler clásico para la luz. Este efecto considera que la velocidad de la luz debe componerse con la del foco emisor, lo que no puede ser cierto, según la interpretación del experimento Michelson Morley y la relatividad. Por lo tanto, según López Arroyo (que fue director del Observatorio de Madrid), se hace necesario realizar un repaso por las ideas más importantes de la física relativista para aplicarlas al efecto Doppler, pudiéndose obtener de esta forma la expresión relativista de dicho efecto. El efecto Doppler relativista implica un desplazamiento adicional de las líneas espectrales que se traduce en un efecto Doppler transversal. Lo interesante de este artículo es que trata en detalle los experimentos de Ives y Stilwell de 1938 para detectar este efecto Doppler transversal, sólo explicado teóricamente con la relatividad. Ives y Stilwell hicieron un experimento acelerando rayos de hidrógeno a velocidades del orden de  $5 \times 10^{-3}$  veces la velocidad de la luz, con lo que el desplazamiento previsible del espectro debía ser de unas centésimas de angström. El problema era asegurarse que la observación se hacía en sentido perpendicular al movimiento, es decir evitar cualquier pequeña inclinación que pudiera producir una desviación del orden de la que se quería medir<sup>41</sup>. Como nos explica el propio Lopez Arroyo

El éxito del experimento fue completo, ya que en la placa espectrográfica aparecieron, en efecto, las dos líneas en la posición prevista por la teoría einsteniana. por esta razón se suele considerar el experimento de Ives y Stiwell como crucial para la comprobación experimental de la teoría relativista.<sup>42</sup>

También es digno de mención el intento de Antonio Colino de justificar la necesidad de conocer la relatividad entre los especialistas de física aplicada, para lo que decidió publicar una breve introducción a la teoría en una de las revistas técnicas del CSIC.<sup>43</sup> Antonio Colino, Doctor Ingeniero Industrial y nacido en 1914, fue vocal del CSIC, vicepresidente de la *Junta de Energía Nuclear* y academico de la R. Acad. Ciencias Madrid.

La intención de Colino es clarificadora:

El presente trabajo es una breve y simplificada exposición de la teoría Especial de la Relatividad.

En Electrónica hay muchos modernos dispositivos, como los aceleradores de partículas, fenómenos, como la radiación por cargas eléctricas en movimiento, y puntos a estudiar como la consideración de los campos electromagnéticos por observadores en movimiento, que exigen, para su

<sup>40</sup> López Arroyo, "Espectroscopia astronómica II" (Efecto Doppler)", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1960*, 1959, p 309-402,

<sup>41</sup> Evidentemente la explicación es mucho más compleja (se puede seguir este mismo texto, págs 333 a 334 o bien Snyder y Hall, " A new Measurement of the Relativistic Doppler Shift", *Lecture Notes in Physics*, vol 43, 1975, también el de los propios experimentadores en *Journal Opticcal Society American*, vol 28, 1938, pág 215.

<sup>42</sup> M.Lopez Arroyo, "Espectroscopia astronómica II" (Efecto Doppler)", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1960*, 1959, p. 334.

<sup>43</sup> Antonio Colino, "Una introducción a la teoría de la relatividad", *INE*, 1961,p 167 a 173.

clara comprensión, un conocimiento, por lo menos elemental, de la teoría de la Relatividad. El artículo que sigue, aunque no completo desde el punto de vista de la teoría del conocimiento, puede ser de utilidad para muchos lectores en su aplicación práctica operacional.<sup>44</sup>

Efectivamente es un artículo introductorio en el que Colino expone las ideas básicas de la relatividad, siendo precisamente lo más interesante la justificación que realiza sobre la necesidad de su aplicación y/o conocimiento en el ámbito de la física aplicada, en concreto en cuestiones de electrónica y física de partículas. Igualmente, cabe destacar la rotundidad con la que afirma que toda teoría física debe ser invariante bajo transformaciones de Lorentz, donde “la variable tiempo no será distinguible de las otras variables. Esto ha de ser piedra de toque de cualquier teoría física”. Por ejemplo, nos indica cómo la ecuación de Schrödinger de la mecánica ondulatoria es incompleta y no se puede aplicar a partículas de gran energía, precisamente por no cumplir la condición de invariancia Lorentz. En cambio, la ecuación de Dirac cumple dicha condición y, por tanto, contiene “una cantidad de información muy superior a la de Schrödinger (por ejemplo, el espín del electrón)”

Más interesante, desde un punto de vista teórico, es la contribución de Mariano Mojena Díaz con dos artículos de 1960 y 1961 sobre teoría electromagnética, que fueron publicados en la revista de la *Academia de Ciencias de Madrid*, gracias a la presentación del autor por parte del académico Ricardo San Juan<sup>45</sup>. Fijémonos que eran los años de mayor actividad, precisamente en este medio, de Julio Palacios en su “cruzada” antirrelativista, quien presentó a varios autores para apoyar su teoría alternativa. Pues bien, Ricardo San Juan, a quien Palacios admiraba sinceramente y reconoció como uno de sus mentores en análisis dimensional, también aprovechaba este medio aunque en el sentido contrario, para presentar trabajos dentro de la “ortodoxia” relativista.

A raíz de una polémica con Olijchenko sobre la radiación en un campo electrostático, Mojena Díaz se propone realizar un repaso del problema de la interacción de un campo electrostático sobre una radiación desde tres puntos de vista: el del electromagnetismo clásico, el de la electrodinámica relativista y el de la teoría del electromagnetismo cuántico, añadiendo también algunas consideraciones sobre teoría de campos. Para el objeto que nos interesa, nos centramos en la parte de la electrodinámica relativista, que, junto con el esquema de la mecánica cuántica, forma el fundamento de la electrodinámica moderna.

Demuestra Mojena Díaz la invarianza relativista de las ecuaciones de Maxwell, que expresa en la notación tensorial, considerando el tensor antisimétrico  $\phi_{\mu\nu}$  constituido por las componentes espaciales de los campos eléctrico y magnético  $E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$ . Dichas ecuaciones son de la forma

<sup>44</sup> Antonio Colino, “Una introducción a la teoría de la relatividad”, *INE*, 1961, p. 167.

<sup>45</sup> Mojena Díaz, Mariano, “De electromagnetismo” *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 54, 1960, p 11-4; “Consideraciones sobre la Teoría Electromagnética” *R. Acad. Ciencias Madrid*, v 55, 1961, p 549-561.

$$\sum_{\nu} \left( \frac{\partial \phi_{\mu\nu}}{\partial x_{\nu}} \right) = \frac{4\pi j_{\mu}}{c} \quad \text{que equivalen a}$$

$$\text{rot } \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \rho \vec{v} ; \quad \text{div } \vec{E} = 4\pi \rho ; \text{ y}$$

$$\sum_{\lambda} \left( \frac{\partial \phi_{\mu\nu}}{\partial x_{\lambda}} \right) = 0 \quad \text{que equivalen a}$$

$$\text{div } \vec{H} = 0 ; \quad c \text{ rot } \vec{E} + \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = 0$$

Con esta notación, se plantea el problema de interacción de una carga bajo la acción de un campo electromagnético, donde se considera el tensor de Maxwell relativista o tensor energía-impulso, tensor que obedece a las transformaciones de Lorentz. El tensor es de la forma

$$T_{\mu\nu} = (1/4\pi) [\sum_{\lambda} \phi_{\mu\lambda} \phi_{\lambda\nu} + 1/4 \delta_{\mu\nu} \sum_{\lambda,\sigma} \phi_{\lambda,\sigma}^2]$$

siendo  $\delta_{\mu\nu}$  el símbolo de Kronecker, obteniéndose la función de Hamilton mediante la expresión

$H = e\phi + [m^2 c^4 + (\mathbf{P} - e\mathbf{A})^2]^{1/2}$ , donde  $\mathbf{P}$  es el vector impulso y  $\mathbf{A}$  el potencial eléctrico. Desarrollando en serie coincide con la función de Hamilton clásica salvo el factor de corrección relativista  $mc^2$ .

Para la mecánica cuántica, la ecuación de interacción viene dada por la fórmula de Dirac

$$H\psi = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = [(\alpha \mathbf{P} - e\mathbf{A}) + \beta mc^2 + e\phi]\psi \quad \text{siendo } \psi \text{ la función de onda, } \alpha \text{ y } \beta \text{ las}$$

matrices de cuarto orden establecidas en la teoría de Dirac.

A esta ecuación se le debe aplicar también la condición de invariancia relativista y, desarrollando en variables canónicas de la mecánica analítica, se obtiene el hamiltoniano de la radiación, resultando

$$H_r = \sum_{\mu} \sum_{\lambda} q_{\lambda\mu}^* q_{\mu\lambda} 2v_k^2, \quad \text{donde } q^* \text{ son las variables conjugadas según la mecánica analítica}$$

En la continuación de 1961, Mojena Díaz trata el mismo problema desde la perspectiva de la teoría cuántica de campos, aspecto que analizo con más detalle en el apartado 4.3.4 "Física cuántica y relatividad".

Otro reflejo del buen nivel teórico de algunos físicos españoles de la época es el trabajo, en 1960, de Fernández Ferrer y Eduardo de Rafael Gavalda (ambos físicos fueron becados por el gobierno francés para realizar estudios de física teórica en Francia) sobre teorías particulares de la electrodinámica desde una óptica relativista<sup>46</sup>. En 1934 Born e Infeld propusieron una electrodinámica no lineal, que era una teoría

<sup>46</sup> Fernández Ferrer, J. y Eduardo de Rafael Gavalda, "Campo estacionario con simetría cilíndrica en electrodinámica no lineal de Born-Infeld", *Anales Soc. Esp. Física y Química*, v 56(A), 1960, p 273-280.

del campo electromagnético, en la que las características de las cargas aparecen como función del campo. Los autores españoles mencionados consideraron la aplicación de la teoría de Born-Infeld al caso particular de un campo estático con simetría esférica que, por ejemplo, sirve para proporcionar un valor aproximado de la intensidad crítica del campo eléctrico del electrón y es válido para calcular el campo creado por una distribución lineal (continua, longitudinal e indefinida) de carga.

Lo interesante de este artículo para el tema de la relatividad, es que tanto en la teoría de Born-Infeld como en este caso particular, se utiliza la teoría electromagnética asociada con el formalismo relativista, al considerar como magnitudes fundamentales las seis componentes del tensor antisimétrico  $F_{\alpha\beta}$ , que representa el campo electromagnético en relatividad restringida, donde también se usa el tensor métrico y se utilizan las ecuaciones de Maxwell en notación tensorial, es decir

$\partial_\alpha F_{\beta\gamma} + \partial_\beta F_{\gamma\alpha} + \partial_\gamma F_{\alpha\beta} = 0$  o lo que es lo mismo  $\partial_\gamma(\sqrt{g}f^{\alpha\gamma}) = 0$ , con lo que la cuadridensidad de corriente queda definida por el cuadvivector  $J^\alpha = c\epsilon_0 \partial_\gamma \partial_\gamma(\sqrt{g}F^{\alpha\gamma})$

Para el caso particular en estudio, se considera el elemento de línea en coordenadas cilíndricas  $ds^2 = dr^2 + r^2 d\phi^2 + dz^2 - c^2 dt^2$ , al que se puede aplicar la ecuación general en función del tensor métrico  $ds^2 = g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta$  y las componentes del tensor  $F^{\alpha\beta}$  en coordenadas cilíndricas serán las siguientes:

$$F^{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{cB_z}{r^2} & -cB_\phi & -iE_r \\ -\frac{cB_z}{r^2} & 0 & \frac{cB_z}{r^2} & \frac{iE_\phi}{r^2} \\ cB_\phi & -\frac{cB_r}{r^2} & 0 & -iE_z \\ iE_r & \frac{iE_\phi}{r^2} & iE_z & 0 \end{pmatrix}$$

De esta forma, Fernández Ferrer y De Rafael obtienen las expresiones de los campos eléctrico y magnético  $E_r$ ,  $D_r$ ,  $B_\phi$ ,  $H_\phi$ , con lo que se resuelve el campo eléctrico crítico que medirá un observador respecto al cual los electrones se mueven con movimiento rectilíneo y uniforme. El resultado contiene un factor correctivo debido a los efectos relativistas, que a distancias suficientemente grandes se anula, lo que hace que el resultado coincida con la teoría clásica, por lo que estos resultados consolidan la consistencia de la teoría de Born-Infeld.

Siguiendo con temas avanzados de física teórica, en concreto relacionados con la dinámica analítica, cabe destacar el artículo de Gascón, “Un principio de acción para la mecánica relativista” (1961).<sup>47</sup> El propósito de este trabajo es generalizar a la mecánica relativista el principio de acción establecido por Luis María Garrido Arilla en

<sup>47</sup> F.Gascón, “Un principio de acción para la mecánica relativista”, *Anales Soc. Esp. Física y Quím., serie A Física*, v 57A, 1961, p 253-256.

el marco de la mecánica clásica.<sup>48</sup> En el artículo citado de Garrido se deducen las ecuaciones de Hamilton estudiando la variación completa de la integral de acción. Lo aplica al problema de las perturbaciones, llegando a resolver el de la interacción en mecánica clásica. El propósito de Gascón es generalizar dicho principio de acción a la mecánica relativista, obteniendo la ecuación de la evolución de un sistema respecto de cualquier coordenada. Partiendo de esta solución, si se da al tiempo preponderancia sobre las coordenadas espaciales, se obtienen las ecuaciones de Hamilton del movimiento en mecánica clásica.

Gascón considera una densidad lagrangiana  $L$  que depende de las componentes del campo  $\varphi_\mu$  y de sus primeras derivadas  $\partial_k \varphi_\mu$  ( $\partial \varphi_\mu / \partial x_k$ ), donde  $\varphi_\mu$  viene dado por un tensor genérico con  $\mu=1,2,\dots,n$

El Lagrangiano debe ser invariante bajo transformaciones de Lorentz, es decir

$$L(\varphi_\mu, \partial_k \varphi_\mu) = L(\varphi'_\mu, \partial'_k \varphi'_\mu)$$

En una hipersuperficie cilíndrica limitada por hipersuperficies espaciales  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  (planos), la integral de acción viene dada por

$W = \int_V L(\varphi_\mu, \partial_k \varphi_\mu) d^4x$  (donde  $d^4x$  es el elemento infinitesimal de volumen y  $V$  es el volumen cuatridimensional limitado por la superficie y los planos considerados  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ ). El problema consiste en calcular la variación de la acción  $W$  para variaciones arbitrarias del campo, suponiendo que los planos  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  pueden también variar infinitesimalmente.

Considerando la variación infinitesimal de la densidad lagrangiana y aplicándola a la variación de  $W$ , se obtiene la ecuación de la variación dinámica del sistema o evolución respecto a cualquier coordenada, en el caso en que sólo se modifique la superficie  $\sigma_2$  de la forma

$$\partial_k \varphi_\mu = \frac{1}{\delta x_k} \frac{\partial \left( \int_{\sigma_2} H d\sigma_{k2} \delta_{k2} \right)}{\partial P_k^\mu}$$

donde  $P_k^\mu$  es el momento canónico conjugado respecto a la coordenada  $x_k$ , es decir  $\frac{\partial L}{\partial_k \varphi_\mu}$ .

En esta ecuación se puede considerar el caso límite de la mecánica clásica calculando la evolución temporal del sistema cuando se da preponderancia a la coordenada temporal, y se obtiene  $\frac{\partial P}{\partial t} = -\frac{\partial H}{\partial t}$ , que representan las ecuaciones de Hamilton de la Mecánica clásica. En conclusión, considero que este trabajo de Gascón, publicado en los *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, es un buen ejemplo de trabajos originales, aunque escasos, de física teórica en el ámbito de la relatividad.

Sobre cuestiones de espectroscopia asociadas a física relativista, resulta de sumo interés un estudio de Velasco de 1963 en el que resume las diferentes aplicaciones de

<sup>48</sup> Garrido, "An action principle for Classical Mechanics, *Jour. Math. Analysis*, 1961.

la espectroscopia, tanto atómica como astronómica<sup>49</sup>. Aunque trata la confirmación experimental del modelo relativista de Sommerfeld, que explicaba la estructura fina de las rayas espectrales, nos interesa aquí la narración de Velasco sobre las recientes determinaciones espectroscópicas de la velocidad de la luz en el vacío. Estas se llevaron a cabo fundamentalmente con métodos de la espectroscopia molecular y permitieron calcular esta constante fundamental con gran precisión, obteniéndose  $c=299793,1 \pm 0,65$  Km/s, como valor medio de cinco tipos de prueba diferentes y en estados diferentes de movimiento respecto al observador. La conclusión de Velasco es determinante en defensa de la ratificación experimental de un postulado clave de la relatividad:

Este resultado es en realidad un nuevo apoyo respecto de la constancia de esta magnitud, toda vez que las partículas atómicas y moleculares responsables de la radiación cuya longitud onda se ha medido para determinar  $c$  se encontraban en estados distintos de movimiento, y a pesar de ello han dado lugar al mismo valor en todas las determinaciones.<sup>50</sup>

Aunque no como trabajo científico especializado del tipo de los anteriores, hay que destacar, en la literatura española sobre física relativista, el libro ya citado del ingeniero Manuel Lucini.<sup>51</sup> En concreto, sobre relatividad, la principal novedad es el tratamiento que hace Lucini sobre recientes experimentos de la época, relacionados con la teoría de Einstein. Respecto al experimento de Michelson Morley, detalla la repetición del mismo por parte de Essen en 1954 y 1955, pero no ya como experimento óptico, sino con ondas electromagnéticas (en el espectro no visible de 9200 Mhz) con resultados iguales a los del experimento original, es decir sin detección del “viento del éter” y/o del movimiento absoluto<sup>52</sup>. En opinión de Lucini, esto sugiere la necesaria aplicación del principio de relatividad de Einstein también para todos los fenómenos físicos, donde se demuestra que no son válidas las transformaciones clásicas de Galileo.

También describe Lucini la repetición, en los años 50, del experimento de Trouton y Noble, que sirven igualmente de apoyo a la relatividad, así como de medidas de la velocidad de la luz, que constatan su invariancia bajo diferentes condiciones.<sup>53</sup>

Sobre la comprobación de la dilatación relativista del tiempo, cita Lucini los experimentos de observación de partículas rápidas (mesones, partículas radiactivas), haciendo referencia al libro de Max Born, *Die Relativitätstheorie Einsteins* (edición de 1964) donde se describen en detalle dichos experimentos. Sobre las paradojas relativas a este tema, Lucini se postulaba respecto a la conocida de los “gemelos” entre los que defienden que se soluciona con la relatividad general, ya que uno de los referenciales es galileano y el otro no. Sobre el concepto del tiempo, realiza una

<sup>49</sup> R. Velasco, “La espectroscopia y el desarrollo de la ciencia actual”, *Las Ciencias*, 1963, p 337- 349

<sup>50</sup> *Idídem*, p. 344.

<sup>51</sup> M. Lucini, *Principios fundamentales de las nuevas mecánicas (relativista, ondulatoria y cuántica)*, Editorial Labor, Barcelona, 1966.

<sup>52</sup> Lucini, *Ibídem*, p. 66 y 67.

<sup>53</sup> Lucini, *Ibídem*, p. 73.



reflexión muy interesante sobre el carácter matemático de Einstein frente al metafísico de Newton:

Mientras que el tiempo newtoniano es un concepto metafísico, el tiempo einsteniano es un concepto matemático, conceptos que no son coordinables en muchos casos, y de ello derivan las paradojas y contradicciones a que se ha hecho anteriormente referencia.<sup>54</sup>

En cuanto a la cinemática relativista, aunque Lucini no introduce novedades en el tratamiento, cabe destacar la importancia que da a considerar el grupo de transformaciones relativistas, que él llama grupo de Lorentz-Einstein, como un resultado de una pseudo-rotación, y que trata como parte de la teoría de las transformaciones ortogonales.

Sobre la dinámica relativista, en mi opinión lo más interesante es el tratamiento que hace del concepto de masa. Partiendo de la ecuación fundamental de la dinámica relativista

$$\vec{F} = \frac{d(m_0 \vec{v} / \sqrt{1 - \beta^2})}{dt} \quad (\text{donde } \beta = v/c)$$

si se aplica la derivación por partes (es decir considerando que también hay que aplicar la derivada al factor  $v/c$ ) queda

$$\vec{F} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{m_0}{c^2 \sqrt{(1 - \beta^2)^3}} \frac{d\vec{v}}{dt} \vec{v}$$

En el análisis de esta expresión hay que contemplar dos casos: el primero que el vector velocidad es magnitud constante y sólo varía en dirección, el segundo que la dirección de  $\vec{v}$  es invariable y sólo cambia en magnitud.

En el primer caso  $\frac{dv}{dt} = 0$  y queda  $\vec{F} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \frac{d\vec{v}}{dt}$

la derivada vectorial es perpendicular a la velocidad, por lo que la fuerza actúa transversalmente a la trayectoria. Del concepto de masa inercial como coeficiente

fuerza/aceleración, se puede contemplar que el coeficiente  $\frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$  es una masa

transversal. En el segundo caso la fuerza actúa en la misma dirección que la velocidad, además  $\frac{dv}{dt} = \frac{d\vec{v}}{dt}$  y se demuestra que  $\vec{F} = \frac{m_0}{\sqrt{(1 - \beta^2)^3}} \frac{d\vec{v}}{dt}$  con lo que

aplicando el mismo concepto de masa inercial, el coeficiente  $\frac{m_0}{\sqrt{(1 - \beta^2)^3}}$  se puede considerar como masa longitudinal.

---

<sup>54</sup> Lucini, *Ibidem*, p. 86.

Resulta de esto que la masa de la mecánica relativista no es ya una magnitud modular, como en la clásica, ni siquiera un escalar, sino una magnitud vectorial cuyo valor varía según la dirección en que actúe la fuerza relativamente a la trayectoria.<sup>55</sup>

Si además se considera la masa como coeficiente de impulso, esto es  $m = \text{impulso}/\text{velocidad}$ , se demuestra que esta masa coincide con la transversal. A su vez, la masa como coeficiente de energía cinética ( $m = 2E/v^2$ ) coincide con la longitudinal.<sup>56</sup>

Sobre el aumento de la masa inercial con la velocidad, refiere Lucini los experimentos de Abraham y Kaufman (1901 a 1906), de Proctor (1910) y Guye (1910 a 1921), así como “es hecho de observación corriente en los modernos aceleradores de partículas (ciclotrones).” En resumen, vemos que este libro de Lucini es un buen ejemplo de manuales sobre relatividad en España que contiene algunos aspectos dignos de mencionar.

A partir de 1967, aparecieron en los *Anales de Física* de la Soc. Esp. Física y Quím. varios trabajos científicos de física teórica directamente asociados con la relatividad. Los protagonizaron Luis Boya, Azcárraga y Santos, y apuntan el comienzo de labor investigadora en España sobre relatividad que se dio ya a partir de 1971 con la presencia en España de Lluís Bel y su influjo determinante en el inicio de dicha labor investigadora.

Efectivamente, en 1967 Luis Boya y José A. De Azcárraga presentan<sup>57</sup> el resultado de una investigación apoyada en parte por *U.S. Air force* a través de la *European Office of Aerospace Research*, con financiación de la *Fundación Juan March* y apoyo de los profesores Sancho y Wigner. Este trabajo surge en parte de uno de Ynduráin en *Nuovo Cimento* sobre aspectos teóricos del grupo de Lorentz<sup>58</sup>. Boya y Azcárraga obtuvieron las ecuaciones de Maxwell para un fotón en el vacío, a través de la estricta realización de la representación del grupo de Poincaré, demostrando cómo la condición de Lorentz y la invariancia “gauge” surgen del formalismo, basado en la métrica de Minkowski.

Los mismos autores, pertenecientes al *Instituto de Física Teórica* de la Facultad de Ciencias de Barcelona, presentaron en 1969 las ecuaciones de Klein-Gordon, de Proca y de Maxwell en tres formas equivalentes (escalar, vectorial o tensorial según corresponda, y mixta o linearizada) por medio de operadores diferenciales covariantes en el espacio-tiempo de la relatividad especial, estudiándose también las ecuaciones correspondientes en el espacio de momentos.<sup>59</sup> En un espacio de Minkowski con coordenadas  $x^0, x^1, x^2, x^3$  en el que la métrica es  $(-1, 1, 1, 1)$ , que podemos considerarlo como compuesto de coordenadas  $x^0$  y  $x^i$  (con  $i=1, 2, 3$ ), se puede definir un operador  $d$ ,

<sup>55</sup> Lucini, *Ibídem*, p. 116.

<sup>56</sup> Las demostraciones se pueden seguir en *op.cit.* págs 114 a 116.

<sup>57</sup> Boya, Luis J. y José A. De Azcárraga “A group theoretical derivation of Maxwell equations”, *Anales Soc. Esp. Física y Quím., serie A Física*, v 63(A), 1967, p 143-146.

<sup>58</sup> Ynduráin, Francisco J., “Little groups of the  $(n+1)$ -dimensional Lorentz Group”, *Il Nuovo Cimento*, v 45, 1966, p 239-240.

<sup>59</sup> Azcárraga y Boya, “On the formulatiuon of spin zero and one particle equations” *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím., serie A Física*, v 65(A), 1969.

diferenciación exterior (operador de frontera), y un operador  $\delta$ , diferenciación dependiente de la orientación (operador de cofrontera).

El operador  $d$  transforma las funciones ordinarias de la siguiente forma

$$d\phi = \frac{\partial\phi}{\partial x^0} dx^0 + \sum \frac{\partial\phi}{\partial x^i} dx^i \quad (\text{donde el sumatorio es desde } i=1 \text{ hasta } i=3)$$

identificando  $A_\mu$  con  $\frac{\partial\phi}{\partial x^\mu}$  también se puede aplicar el mismo operador de la forma

$d(d\phi)$ , es decir

$$d(A_0 dx^0 + \sum A_i dx^i) = \left(\frac{\partial A_1}{\partial x^0} - \frac{\partial A_0}{\partial x^1}\right) dx^0 dx^1 + \dots + \left(\frac{\partial A_3}{\partial x^2} - \frac{\partial A_2}{\partial x^3}\right) dx^2 dx^3$$

y el operador  $\delta$  de la forma

$$\delta\phi = 0 ; \quad \delta(A_0 dx^0 + \sum A_i dx^i) = -\frac{\partial A_0}{\partial x^0} + \sum \frac{\partial A_i}{\partial x^i}$$

Entonces se define el operador  $\square = d\delta + \delta d$ , con lo que dicho operador actúa de la forma

$$\square\phi = -\frac{\partial^2\phi}{(\partial x^0)^2} + \sum \frac{\partial^2\phi}{(\partial x^i)^2}$$

$$\square(A_0 dx^0 + \sum A_i dx^i) = (\square A_0) dx^0 + \sum (\square A_i) dx^i$$

Con esta nomenclatura se pueden escribir las ecuaciones de Maxwell, de Klein-Gordon y de Proca de tres formas diferentes que son equivalentes (lo que se demuestra en el trabajo)

Ecuaciones de Maxwell:

- En formulación vectorial son las clásicas conocidas, en las que aparecen las divergencias y el rotacional de los campos eléctrico y magnético.
- En formulación tensorial, en función del tensor electromagnético  $F$  son  $\square F = 0 ; dF = 0$ .
- En formulación mixta o linearizada son  $\delta F = 0 ; F = dA$  (donde  $A$  es el vector potencial)

Ecuaciones de Klein-Gordon<sup>60</sup> (ecuaciones para una partícula escalar):

- En formulación escalar son  $\square\phi = m^2\phi ; \delta\phi = 0$ .
- En formulación vectorial son  $\square B = m^2 B ; dB = 0$
- En formulación mixta o linearizada son  $\delta B = m^2\phi ; d\phi = B$

<sup>60</sup> Son la generalización relativista de la ec. de Schrödinger. A partir de la expresión relativista de la energía de una partícula de masa  $m$  en función de su energía  $E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2$  y sustituyendo las magnitudes  $E, p$  por sus operadores respectivos  $-i\hbar\partial/\partial t ; -i\hbar\nabla$  se obtiene  $(\nabla^2 - (1/c^2) \partial^2/\partial t^2 - m^2 c^2/\hbar^2)\phi = 0$ , que también se puede expresar de la forma  $(\nabla^2\phi - (1/c^2) \partial^2\phi/\partial t^2 = (m^2 c^4/\hbar^2) \phi$ .

Las ecuaciones de Proca (ecuaciones para partículas de espín uno):

- En formulación vectorial son  $\square A = m^2 A$  ;  $\delta A = 0$
- En formulación tensorial son  $\square T = m^2 T$  ;  $dT = 0$
- En formulación mixta o lineal son  $\delta T = m^2 A$ ;  $dA = T$

Este artículo es muy interesante porque sintetiza las diversas nomenclaturas de sistemas de ecuaciones que se usan en teorías de campos, en las que está implícita la relatividad.

Cabe destacar igualmente la contribución de E. Santos<sup>61</sup>, miembro del departamento de física teórica de la Universidad de Valladolid. Uno de los problemas de la relatividad general es que las ecuaciones de campo gravitatorio sólo se pueden resolver con exactitud en unos pocos casos particulares, algunos de los cuales son los de simetría esférica o cilíndrica (donde el número de variables independientes se reduce a una, por ejemplo en simetría cilíndrica las funciones dependen sólo de la coordenada polar  $\rho$ ). En esos años se había trabajado en supuestos de simetría cilíndrica encontrándose soluciones estáticas correspondientes a un campo electromagnético en ausencia de cargas y corrientes (Marder, *Proy. Roc. Soc.*, 1958; Witten, 1960, Ghosh y Sengupta, *Nuovo Cimento*, 1965), pero la novedad que propone Santos es estudiar problemas de simetría cilíndrica en presencia de cargas y cuando el campo no sea estático, aunque sí estacionario.<sup>62</sup> Para ello considera un hipotético fluido con masa exclusivamente electromagnética y que se mueve con velocidad luz en el eje z, por lo que representa una simetría cilíndrica.

Para la resolución de las ecuaciones de campo hay que hallar la métrica del espacio-tiempo,  $ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k$ , donde en el caso de simetría cilíndrica las coordenadas son

$$x^0 = t, x^1 = \rho, x^2 = \phi, x^3 = z$$

En las ecuaciones de campo de Einstein el tensor energía-impulso para este caso particular es puramente electromagnético, por lo que es de la forma

$$T_{ik} = \frac{1}{4} \pi (F_{i\mu} F_k{}^\mu - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} g_{ik}) \text{ donde } F_{i\mu} \text{ es el tensor electromagnético}$$

En las ecuaciones de campo

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = \frac{8\pi k}{c^4} T_{ik}, \quad R \text{ se anula porque suponemos que la única masa es electromagnética.}$$

De las condiciones impuestas por la simetría cilíndrica, esto es, que el campo eléctrico sea radial, el magnético ejerza en la dirección de avance  $\phi$ , y el intervalo  $ds^2$  sea función de  $dt^2$ ,  $d\rho^2$ ,  $d\phi^2$ ,  $dz^2$ , desarrollando se llega a la expresión de las  $g_{ik}$ .

<sup>61</sup> Santos, "Solución de las ecuaciones de Einstein-Maxwell para una corriente eléctrica cilíndrica estacionaria", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 64(A), 1968, p 283-285.

<sup>62</sup> Campo estacionario es en el que las funciones que lo determinan son independientes del tiempo y campo estático es en el que son nulas las componentes  $T_{i0}$  del tensor energía-impulso, siendo i las coordenadas espaciales y 0 la coordenada temporal.

En definitiva es otro ejemplo brillante de inicio de labor investigadora sobre relatividad en España.

Por último, veamos un breve repaso sobre el tratamiento en España de la teoría del italiano Fantappiè, conocida como relatividad final, analizada brevemente por José María Orts y en más detalle por Antonio Romañá.

En una publicación de 1959 tan curiosa como interesante, Orts trató brevemente la teoría de Fantappiè.<sup>63</sup> El autor era Director del *Seminario Matemático de Barcelona*, organismo dependiente de la delegación de Barcelona del CSIC. Este texto corresponde a un discurso en el que trata un tema histórico sobre cuestiones de prioridad en la gravitación newtoniana. El interés respecto al tema que nos ocupa reside en que previamente, al hablar de temas específicamente matemáticos en los que se estaba trabajando en el seminario citado que dirigía, se hace eco de recientes trabajos del físico-matemático italiano Giuseppe Arcidiacono sobre “relatividad final”. Estos trabajos eran un intento, del también matemático italiano Fantappiè, de extensión de la relatividad general, en la que se aplica la teoría de grupos a las ecuaciones de la gravitación de Einstein. Orts refiere que igual que las transformaciones de Galileo son un caso límite de las de Lorentz, Fantappiè plantea la posibilidad de un nuevo grupo que contuviese como límite el de Lorentz, grupo que coincide con el propuesto por De Sitter como solución a las ecuaciones de la gravitación einsteinianas. Uno de los argumentos favorables a la relatividad final de Fantappiè es en el ámbito de la teoría cuántica de campos, donde las ecuaciones de campo de los mesones no resultan invariantes respecto del grupo de Lorentz pero sí respecto del de Fantappiè.

Según nos informa Romañá<sup>64</sup>, que profundiza algo más, Fantappiè abordó el problema de las ecuaciones relativistas del campo gravitatorio desde el punto de vista más amplio de la teoría de grupos, según el cual, el concepto de ley física sólo tiene significado claro si existe un criterio preciso de igualdad, criterio que se debe expresar matemáticamente por la condición de que un cierto conjunto de operaciones constituyan un grupo. Los modelos de universo newtoniano y de Minkowski se corresponden, respectivamente, a los grupos de Galileo y de Lorentz, donde el primero es un caso límite del segundo. Además los dos son de diez parámetros y su cronotopo (sistema de referencia espacio-temporal) es de cuatro dimensiones. Fantappiè, basándose en la teoría de grupos topológicos, encontró otro grupo en el que el de Lorentz era un caso límite, demostrando además que este nuevo grupo a su vez ya no era caso límite de otro ulterior (siempre que se considerara de diez parámetros y del mismo cronotopo). Es decir era un grupo final, con lo que el nuevo modelo de universo basado en este grupo se le denominó de la *Relatividad Final*.

Las transformaciones de Fantappiè son

---

<sup>63</sup> José María Orts, *Evocación de una controversia en torno a unos documentos apócrifos*, CSIC, Barcelona, 1959.

<sup>64</sup> Romañá, *Idea sobre el estado actual de la cosmología*, CSIC, Patronato Alfonso el Sabio, Publicaciones del Observatorio del Ebro, memoria nº 12, Tortosa, 1966 (También en *Memorias R. Acad. Ciencias Madrid*, 1966). En concreto sobre la teoría de Fantappiè, pags. 111 y ss.

$$x' = \frac{x + T}{1 + Tx/R^2} ; t' = \frac{t\sqrt{1 + T^2/R^2}}{1 + Tx/R^2} \text{ donde } T \text{ es un parámetro asociado a una}$$

traslación espacial y R el radio del cronotopo.

Para acabar este apartado sobre el tratamiento de la relatividad especial y general en España, indudablemente habría que referirse a la teoría antirrelativista de Palacios, las propuestas originales de Maravall y el encuentro de física teórica de Santander celebrado en 1965, aspectos todos ellos que, como ya he indicado, se tratan en detalle en sus respectivos apartados.

#### 4.3.3. EL TRATAMIENTO DE LAS COSMOLOGÍAS RELATIVISTAS

Hubo múltiples referencias de diversos autores españoles a las teorías cosmológicas surgidas a partir de la formulación de la relatividad general, pero todas ellas eran, en definitiva, resúmenes de las ideas de Einstein, Eddington, Lemaître, Friedman, etc. El único que sobre este tema intentó realizar alguna aportación realmente original fue Darío Maravall, aspecto que se trata en detalle en el apartado específico dedicado a su obra. A continuación se realiza un breve repaso de lo más significativo, eludiendo las múltiples citas que hacían breve referencia a las teorías cosmológicas, aunque ya adelanto que en estas cuestiones, sin duda, lo más destacado es el libro de Antonio Romaña publicado en 1966, *Idea sobre el estado actual de la cosmología*, que se analiza al final de este apartado.

Ya en 1944, José María Torroja (1916-1994), realizó una breve exposición sobre la expansión del Universo, centrándose en la teoría de Lemaître<sup>65</sup>. Torroja era Doctor en Matemáticas, Catedrático de Astronomía y Geodesia y fue miembro del Observatorio Astronómico de Madrid. Es indudable la asociación que realiza Torroja entre las teorías cosmológicas y la relatividad general, cuando afirma:

La teoría de la relatividad generalizada parece exigir una dilatación o una contracción del Espacio; basándose en ella, Einstein, De Sitter, Friedmann y Lemaître han propuesto distintos tipos de espacios, dentro de los cuales buscan la solución de tan importante problema.<sup>66</sup>

También en la década de los cuarenta del siglo pasado hubo una aproximación a cuestiones cosmológicas por parte de otro científico español, Ignacio Puig que fuera subdirector de Observatorio del Ebro. Ya vimos anteriormente que en su estancia en Argentina publicó en 1935 un trabajo ambiguo en el que mantenía la hipótesis del éter, lo que le hacía ser reticente a la teoría de expansión del Universo por los problemas teóricos que generaría respecto a la naturaleza elástica del éter. Ahora ya no cita el éter pero continua con sus reparos a las teorías sobre la expansión del Universo. En

<sup>65</sup> José María Torroja, "El sistema galáctico", *Anuario del Observatorio Astronómico para 1945*, 1944, p 297-370.

<sup>66</sup> Torroja, *Ibidem*, p. 369.

un primer artículo<sup>67</sup> de 1945 dio cuenta de la sorpresa de la comunidad científica ante el hecho comprobado del alejamiento de las nebulosas espirales, en principio deducido por el corrimiento al rojo según el efecto Doppler. Plantea Puig que, aun siendo real el alejamiento de las nebulosas estelares, no tiene que ser necesariamente comprobable. Ante el supuesto alejamiento, basado en que el espectrógrafo capta la componente radial de la velocidad de fuga, se calculó que la componente tangencial debía ser de 1,5 veces la velocidad radial. Puig detalla las diferentes observaciones y obtención de espectros, así como la obtención de la ley de Hubble, de lo que surgió la duda, por la enorme velocidad de fuga (en algunos casos de 80.0000 km/sg) de si el corrimiento se debía exclusivamente al efecto Doppler o a alguna otra causa. Indica que a pesar de la delicadeza del proceso de la obtención de los espectros, no se puede dudar del corrimiento (lo que justifica en detalle), pero en cambio sí de que se deba a un proceso de expansión del Universo.

De esta forma, en su siguiente escrito, analizó Puig las diferentes hipótesis para explicar dicho corrimiento<sup>68</sup>. Una de las causas del corrimiento al rojo podía ser el llamado efecto Einstein, debido a la influencia del campo gravitatorio, pero según él, hay que descartarlo porque “la ley de Hubble ha de poderse explicar en cualquier hipótesis que se admita” y no se ajusta dicha ley con una explicación satisfactoria por este efecto. Otra de las hipótesis para explicar el corrimiento se basaba en la acción del medio, como la establecida por Zwicky en 1929. Esta acción consiste en que los rayos luminosos van perdiendo energía por la acción gravitatoria de las partículas materiales con las que se van encontrando en el enorme camino. Esta pérdida de energía se traduce en un corrimiento al rojo. También, la pérdida de energía de la radiación estelar se podría deber a una causa interior en su origen, por la inestabilidad inherente a la radiación o por choques con otros fotones, hipótesis sugerida por Mc Millan en 1932. Por ultimo, refiere Puig una nueva hipótesis, establecida en 1936 por José Carlos Millás, director del Observatorio Nacional de la Habana, similar a la de Zwicky pero basada en la teoría de Planck sobre la naturaleza de la luz, por la cual cada cuanto de luz debe tener una masa que varía con la frecuencia propia del fotón. Aunque, según Einstein, cada cuanto de luz permanece invariable desde que es emitido hasta que es absorbido, Puig opina que cada fotón, en la trayectoria, interactúa con los otros adyacentes, que deben introducir acciones muy pequeñas en su campo, cuyo resultado es la disminución de su frecuencia. Esta disminución debe aparecer proporcional a la distancia.

Puig concluyó su análisis en otro artículo, recopilando diferentes opiniones contrarias a la expansión del universo<sup>69</sup>, destacando la posible incompatibilidad de la fuga de las galaxias con la edad calculada para ellas, resumiendo las posibilidades del corrimiento al rojo y poniendo en duda, incluso, la curvatura del espacio. En su resumen Puig constata la variedad de hipótesis diferentes sobre los diferentes modelos cosmológicos, así como la contradicción en la que caían algunos como Einstein, al eliminar la

---

<sup>67</sup> Ignacio Puig, “La fuga de las nebulosas espirales”, *Ibérica*, nº 17, 1945 v I, p 402-406.

<sup>68</sup> Ignacio Puig, “La teoría de la expansión del Universo”, *Ibérica*, Nº 22, 1945 v I, p 521-524.

<sup>69</sup> Ignacio Puig, “Reparos a la teoría de la expansión del Universo”, *Ibérica*, Nº 26, 1945, v II, p 12-16. Estos tres últimos escritos de Puig aparecieron recopilados en *La expansión del Universo*, Manuales “Revista Ibérica”, nº 7, Barcelona, 1945

constante cosmológica de las ecuaciones de campo que postuló anteriormente. Todo lo anterior le lleva a hacer una reflexión sobre el peligro que tiene para la ciencia la falta de prudencia y la excesiva credibilidad de “lo nuevo”. Este posicionamiento de Puig se puede considerar como ambiguo frente a la relatividad.

Siguiendo cronológicamente el tratamiento en España de la cosmología, de nuevo es un referente el libro de Terradas y Ortiz de 1952, donde el repaso que realizan sobre las teorías cosmológicas asociadas a la relatividad es exhaustivo y brillante. Dedicar un capítulo completo al estado actual, para 1952, de las teorías cosmológicas. Consideran el inicio de la cosmología en la interpretación de Mach sobre los efectos inerciales, como resultado de la aceleración respecto del conjunto de todos los cuerpos que constituyen el universo, y no como consecuencia de una aceleración respecto del espacio absoluto, que era la máxima de la física newtoniana. Este es el conocido *principio de Mach*, en el que el campo de inercia está determinado exclusivamente por la distribución de la materia en el universo, principio que Einstein incorporó como postulado en la relatividad general al considerar que el campo métrico o gravitatorio está determinado por el tensor energía-impulso, lo que le indujo a incluir en sus ecuaciones de campo el famoso término cósmico o constante cosmológica. Pero, para Terradas y Ortiz, esto plantea un problema respecto a las condiciones en los límites, que deben poder expresarse en forma covariante. En realidad, este problema del comportamiento del campo gravitatorio en un espacio infinito no es privativo del esquema einsteniano, sino que también se daba en el newtoniano, como reflejaron algunos autores (C. Neumann y H. von Seeliger), indicando que la ley de la gravitación de Newton sólo puede ser rigurosamente válida si la densidad de materia en el universo tiende a cero, para el radio del universo tendiendo a infinito, de forma más rápida que la inversa de dicho radio al cuadrado, ya que si no, la fuerza ejercida por el conjunto de las masas del universo sobre un punto material estaría indeterminado. Este problema se puede soslayar modificando ligeramente la ley del potencial gravitatorio (en la física newtoniana) añadiéndole un factor de tal forma que quede  $V = (m/r)e^{-kr}$ , conocida como ecuación de Neumann-Seeliger.

Sobre la introducción de la constante cosmológica en las ecuaciones de campo, Terradas y Ortiz, inciden en la importancia de señalar las siguientes consideraciones:

En todas las cuestiones cosmológicas, cuando se habla de densidad de la materia, debe entenderse en sentido cósmico, considerando el universo como un enorme gas cuyas “moléculas” serían esas agrupaciones de estrellas y materia a las que se ha dado el nombre de “universos-isla” o galaxias. Se trata, en efecto, del universo como un todo, prescindiendo de las irregularidades locales debidas a la presencia de estrellas en determinadas regiones [...]

La introducción de la constante cósmica  $\lambda$  en las primitivas ecuaciones de la gravitación einsteniana solventa algunas de las dificultades que hemos señalado. Mientras que en la teoría original de Einstein aparece como una hipótesis *ad hoc*, la constante  $\lambda$  surge espontáneamente en las teorías de Weyl y Eddington. El papel que representa en la teoría de este



último es de la mayor importancia y a ella atribuye una profunda significación, incluso dentro de marco de la teoría de Einstein.<sup>70</sup>

Terradas y Ortiz resumen los diferentes modelos de universo propuestos, todos ellos compatibles con las ecuaciones de Einstein: el cilíndrico de Einstein, el esférico de De Sitter (ambos estáticos), el de Friedmann (el primero con soluciones no estáticas de las ecuaciones de gravitación), ampliado por Lemaitre, y el de Eddington (que intentó armonizar la teoría cosmológica con la física cuántica).

De todos ellos nos ofrecen los autores detalladas exposiciones con profusión de formalismo matemático, aunque, desde mi punto de vista, lo más interesante, como novedad sobre lo tratado en nuestro país, es el análisis de las controversias provocadas por Milne, con su obra *Relativity Gravitation and World Structure* (Oxford, 1935), respecto de las diversas interpretaciones de la ley de Hubble sobre la velocidad de recesión de las galaxias. Milne introdujo la noción de *observadores equivalentes* en sentido cinemático y de la subordinación de los conceptos de tiempo y espacio a la propagación y recepción de señales. Según esta idea, dos observadores A y B son equivalentes si sus relojes están graduados de tal forma que la descripción de los hechos que ocurren en B por parte de A, coincide con la que, a su vez, B hace de los hechos que suceden en A, entendiendo por *hecho* únicamente la emisión o recepción de señales. Aplicó Milne esta teoría para considerar un conjunto de nebulosas espirales como un sistema de observadores equivalentes, deduciendo una distribución de las velocidades mutuas de las nebulosas extragalácticas que se ajusta a la ley de Hubble. Para ello, extendió Milne el concepto de equivalencia de dos observadores al de equivalencia cosmológica, por el cual dos observadores A y B son cosmológicamente equivalentes si A describe la totalidad de las observaciones que efectúa un conjunto de los observadores, de la misma forma que B lo hace con sus observaciones respecto del mismo conjunto de observadores. De esta forma, se puede establecer un principio cosmológico por el cual un conjunto de nebulosas es un conjunto de observadores cosmológicamente equivalentes. Según este principio, todos los observadores fijan las coordenadas de acuerdo a unos mismos criterios y, en particular, las distancias deben determinarse mediante señales, que para todos los observadores tienen una misma velocidad de propagación, coincidente con la de la luz. Además, esta idea implica que el marco geométrico adoptado por cada observador es el del espacio-tiempo de la relatividad especial, que como sabemos es pseudoeuclideo. Para Terradas y Ortiz

No es posible todavía juzgar acerca de la adecuación de la teoría de Milne a los hechos, tanto más cuanto que se trata de una teoría en elaboración por así decirlo. Con ella se inicia en parte un “regreso” a la imagen geométrica del universo anterior a la que ofrece la relatividad general y la actitud de Milne ante la “geometrización” de la física es compartida hoy incluso por muchos que no aceptan su punto de vista en otras cuestiones.<sup>71</sup>

---

<sup>70</sup> Terradas y Ortiz, *Relatividad*, 1952, p. 155.

<sup>71</sup> Terradas y Ortiz, *Relatividad*, 1952, p. 169 y 170. La referencia que hacen a “otros muchos” es posible que sea respecto a la teoría de Birkhoff.

En cuanto a contribuciones de otros autores, en 1956 Daniel Escandell Serra realizó una propuesta original sobre el motivo de la expansión del Universo, aunque, en mi opinión, algo exenta de rigor científico<sup>72</sup>. Aunque no está basada directamente en la relatividad, Escandell defiende que su propuesta es congruente con las concepciones cosmológicas relativistas, en concreto con las de Eddington y Einstein. Se basa en contemplar la radiación como masa, de acuerdo a la fórmula  $E=mc^2$ . Considera que el universo está compuesto de dos capas esféricas, la interior estaría formada por galaxias y la exterior por radiación. Las estrellas van perdiendo masa y la capa exterior, a su vez, aumenta su masa. Cuando la masa de esta capa exterior en forma de radiación aumenta hasta un determinado valor crítico hace que, por acción gravitatoria, atraiga a la capa interior, motivo por el que vemos a las galaxias expandirse.

Otro ejemplo de tratamiento de modelos cosmológicos relativistas es el de López Arroyo en 1959, que resume brillantemente la situación:

El primer modelo teórico de nuestro Universo deducido a partir de la teoría general de la relatividad, lo obtuvo Einstein modificando ligeramente las ecuaciones relativistas para evitar ciertas dificultades que aparecen cuando la distancia es infinita y suponiendo que el Universo es homogéneo e isótropo; el Universo de Einstein es cerrado, finito y lleno de materia en equilibrio. En 1917 De Sitter demostró que la ley general de la gravitación podrá ser satisfecha por otra métrica distinta siempre que se supusiera nula la densidad de la materia en el Universo, es decir, suponiendo un universo vacío. Más tarde se vio que estos dos modelos opuestos de Universo, el de Einstein lleno y en reposo y el de Sitter vacío, que son las únicas soluciones estáticas (o sea, independientes del tiempo) de la ecuación general de la gravitación, son inestables; si se introduce una pequeña perturbación en el reposo del Universo de Einstein, éste evoluciona ya indefinidamente expandiéndose o contrayéndose, según cuál sea el sentido de la perturbación inicial; si en el Universo de De Sitter se introduce materia, las partículas materiales introducidas se alejarán indefinidamente unas de otras. Es interesante que antes de conocerse las velocidades de las nebulosas extragalácticas, De Sitter, con su modelo de Universo, había predicho el retroceso de las Galaxias.

Aparte de estas dos soluciones estáticas inestables, Friedmann, Lemaître y otros han encontrado diversas soluciones no estáticas. Entre ellas unas implican que el Universo evoluciona en un mismo sentido siempre, expandiéndose o contrayéndose, otras, que pueden sucederse etapas de contracción y etapas de expansión; éstas suponen Universos cerrados, finitos; aquellas Universos infinitos, abiertos.

Una vez comprobada la expansión del Universo se pueden desechar automáticamente los modelos estáticos y los de contracción, pero queda

---

<sup>72</sup> Danile Escandell Serra, "Estudio sobre la expansión del Universo", *Aster*, 1956, p 54-60. El motivo por el que considero no es de mucho rigor es porque no plantea posibles comprobaciones experimentales y no formula una posibilidad de predicción teórica mediante los correspondientes cálculos matemáticos.

todavía por determinar cuál de los modelos en expansión es el que se aproxima más a nuestro actual Universo. En particular queda la incertidumbre de si nuestro Universo es cerrado o abierto, finito o infinito. Sólo un hecho, común a todos los modelos, aparece como muy probable: el de que nuestro Universo ha pasado por un estado en que la materia se encontraba hiperconcentrada, y a partir del cual comenzó la expansión, según algunas teorías (la del átomo primitivo de Lemaître, por ejemplo) en forma de una verdadera explosión.<sup>73</sup>

De las muchas citas que se hacían en diferentes artículos sobre teorías cosmológicas conocidas y la confirmación de la expansión del Universo, una muy interesante, a mi juicio, es la de José Pensado Iglesias realizada en 1962. Para Pensado, la recesión de las galaxias se explica con la relatividad general, pero no tanto porque los cúmulos de galaxias se separen unos de otros, sino porque es el propio espacio físico el que se dilata en función del tiempo local.<sup>74</sup>

Otro trabajo que parece obligado referir, por su novedad en España, es un artículo de Antonio Colino aparecido en 1965 en la revista *INE*<sup>75</sup>. Probablemente, haya sido el único español que en esos años reflexionó sobre la famosa paradoja de Olbers, cuya solución, según Colino, está basada en la relatividad general. Sobre aspectos de cosmología trata temas similares ya citados por otros autores, pero lo más destacado es la explicación que da a la solución de la conocida paradoja, cuya descripción, es la siguiente:

En 1826 surge en Cosmología la paradoja de Olbers, con la misma fuerza intelectual que tuvieron las paradojas de los griegos en lógica y matemáticas. Olbers divide el espacio sideral que nos rodea en capas esféricas concéntricas de espesor uniforme y con centro en la Tierra. En cada capa hay un número de estrellas proporcional a su volumen; es decir, al cuadrado de la distancia. Como la intensidad luminosa decae también con el cuadrado de la distancia, el resultado neto luminoso que cada capa produce en el centro es una constante, y por tanto, la luz resultante, suma de todas las capas, es proporcional al espesor total de las mismas. Si el espacio es infinito, la cantidad de luz que se recibiría en la Tierra sería también infinita y entonces, ¿cómo por la noche hay oscuridad?. Es extraordinario que un raciocinio tan simple plantee un problema tan trascendente y difícil. Todos los argumentos para evitar la paradoja se estrellan ante la simplicidad del razonamiento, y tan sólo cien años después hay un argumento, una explicación concluyente.<sup>76</sup>

Esta explicación surgió con el auge de las teorías cosmológicas a partir de la teoría de la gravitación de Einstein. En concreto, con la solución de Friedman en 1920 a las

<sup>73</sup> M.Lopez Arroyo, "Espectroscopia astronómica II (Efecto Doppler)", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1960*, 1959, p. 398 y 399.

<sup>74</sup> José Pensado Iglesias, "Radioastronomía y estructura galáctica", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1963*, 1962, p 310-376. En concreto la reflexión citada aparece en p. 349.

<sup>75</sup> Antonio Colino, "El Universo", *INE*, 1965, p25-30, p 105-111, p 213-216. Es el mismo que "El Universo: notas de un aprendiz de cosmología", discurso inaugural del curso 1964-1965, *R.Acad. Ciencias Madrid*, 1964.

ecuaciones de campo de Einstein, en la que hay una densidad de materia uniforme y con el Universo en expansión. Estos resultados teóricos se ratificaron con la confirmación de la expansión del Universo por parte de Hubble. La imagen correspondiente en dos dimensiones sería un globo elástico con manchas en su superficie que se hincha, con lo que la distancia entre dichas manchas aumentaría proporcionalmente a su distancia primitiva. Así, la cosmología del Universo en expansión, comprobado observacionalmente y consecuencia teórica debido a las soluciones de las ecuaciones gravitatorias de la relatividad general, da solución a la paradoja de Olbers. La explicación es que los fotones, debido al efecto Doppler, reducen su energía y el tiempo propio de la emisión es dilatado en la recepción por el movimiento relativo de los observadores. Esto hace que la intensidad luminosa disminuya con el cuadrado de la distancia (este efecto lo consideró Olbers). Además, para el cálculo del efecto Doppler hay que considerar la corrección relativista del mismo, ya que a determinadas distancias las velocidades de expansión van acercándose a la de la luz.<sup>77</sup>

Otro autor, Enrique Suñer Coma, trabajó en 1962 matemáticamente sobre las diferencias entre los modelos cosmológicos de Einstein y de De Sitter<sup>78</sup>. Ambos modelos parten de la misma expresión del elemento de línea en coordenadas polares y en función de dos factores,  $k$  y  $R(t)$ , donde  $k$  es una constante y  $R$  el radio del Universo como una función del tiempo.

$$ds^2 = dt^2 - \left( \frac{R^2(t)}{c^2} \right) \frac{(dr^2 + r^2 d\theta^2 d\phi)}{\left( 1 + k \frac{r^2}{4} \right)^2}$$

En el Universo de Einstein  $k=1$  y  $R(t)=R$ , es decir constante

En el Universo de De Sitter  $k=0$  y  $R(t) = e^{t/\Lambda/3}$

Del desarrollo de las ecuaciones por parte de Suñer, según ambos casos se concluye que el factor principal de la discrepancia entre los dos modelos es que en el modelo de Einstein no se tiene en cuenta el efecto Doppler, pero en cambio sí hay que considerarlo en el de De Sitter.

Para el caso de Einstein, considerando la materia en el espacio como un fluido perfecto, la presión y densidad deben depender del tiempo, pero no de la posición, de acuerdo con la condición de isotropía y homogeneidad del espacio, obteniéndose que el radio del universo es inversamente proporcional a la constante cósmica (la que introdujo Einstein para lograr soluciones estáticas de sus ecuaciones de campo) y la densidad de materia es constante en el tiempo y variable en el espacio. También se obtiene la expresión del total de masa del universo, de la que se concluye que el total de materia del universo así como el volumen del mismo es finito.

<sup>76</sup> Colino, A., "El Universo", *INE*, 1965, p. 213.

<sup>77</sup> Hoy en día se considera que el principal factor para resolver la paradoja de Olbers es la edad finita del Universo. Los factores de la expansión y la curvatura del espacio intervienen en un orden mucho menor. Ver Jordi Cepa, *Cosmología Física*, Akal, Madrid, 2007, págs 17-19 y 254-257.

En el caso de De Sitter, del desarrollo de las ecuaciones se obtiene que el total del volumen del universo es, en cambio, infinito. En principio, de las ecuaciones de De Sitter el Universo resulta limitado, pero considerando la expansión de la materia y la radiación, hay que introducir el efecto Doppler para la explicación de los resultados.

Por último, se hace necesario repasar el magnífico texto ya citado de Romañá, aparecido en 1966 y probablemente la obra más completa sobre cosmología editada en nuestro país. Antonio Romañá Pujó (1900-1981) era doctor en Ciencias por la sección de Exactas de la Universidad de Barcelona, con tesis doctoral dirigida por Terradas. Antes de la Guerra Civil fue profesor de Astronomía y Matemáticas, y después director del Observatorio del Ebro y de la revista *Ibérica*. También fue presidente del patronato *Alfonso el Sabio* del CSIC, académico de la *Real Academia de Ciencias de Madrid*, vicepresidente de la *Sociedad Astronómica de España y América*, miembro de diferentes sociedades geológicas, sismológicas y astronómicas europeas, así como académico corresponsal de diversas academias de ciencias latinoamericanas. En sus escritos científicos destacó por contribuciones sobre geofísica, reconocidas en medios internacionales.

Plantea Romañá el concepto y estudio de la cosmología, los principios cosmológicos así como las cosmologías prerrelativistas. Analiza en detalle la teoría de la gravitación de Einstein y sus consecuencias en las diversas teorías cosmológicas, como el *Universo cilíndrico* de Einstein, el "Universo observablemente limitado" de De Sitter, los modelos expansivos del Universo, la teoría del átomo primitivo de Lemaître, los modelos newtonianos, el *Universo cinemático* de Milne, el "uranoide" de Eddington, los modelos de Universo de Dirac y Jordan, el universo estacionario de la escuela de Cambridge (teorías de Gold-Bondi y de Hoyle-MacRea), así como las implicaciones cosmológicas de la teoría de Fantappiè. Igualmente profundiza en las pruebas de las diversas teorías cosmológicas, realizando un estudio de los experimentos realizados sobre los modelos cosmológicos.

De los diferentes modelos cosmológicos, a Romañá no le cabe duda que los que se adopten deben tener como punto de partida la teoría de la relatividad general de Einstein:

La naturaleza de las teorías formuladas a partir de la de Einstein y los progresos realizados de resultas de ellas en Astrofísica y Radioastronomía parecen garantizar que nuestros actuales esfuerzos no pueden ser tildados de extrapolaciones temerarias; extrapolaciones, podrán serlo, pero todo hace creer que están situadas seguramente en el camino de la verdad, como tantas otras teorías físicas, que han tenido que ir admitiendo continuos retoques y complementos, pero que no por eso han dejado de jalonar la ruta que conduce al verdadero conocimiento de la Naturaleza.<sup>79</sup>

---

<sup>78</sup> Enrique Suñer, *Comparación de los Universos de Einstein y De Sitter*, Royal Institut de l'Europe, Torre del Remei, Barcelona, 1962. No he logrado encontrar información sobre este autor, por el nivel de su trabajo probablemente fuera físico o matemático.

<sup>79</sup> Romañá, *Idea sobre el estado actual de la cosmología*. Publicaciones del Observatorio del Ebro, Tortosa, 1966, p. 4.

Romañá demuestra un conocimiento muy profundo de todas las diferentes teorías cosmológicas, y se muestra ecléctico frente a ellas, aunque insiste en destacar la importancia de las controversias en ciencia porque ayudan a aumentar el conocimiento científico, por lo que de todas las teorías expuestas valora positivamente los intentos de los diferentes autores por desarrollar teorías originales consistentes.

Sobre las diferentes teorías cosmológicas existe igualmente abundante bibliografía moderna, pero en mi opinión esta obra de Romañá sigue siendo la más completa y didáctica desde el punto de vista conceptual, salvo el que no da referencias de los artículos originales de cada uno de los protagonistas.<sup>80</sup>

De los diferentes modelos cosmológicos analizados por Romañá, sólo voy a sintetizar las ideas básicas, destacando los aspectos novedosos respecto a la literatura relativista en España.

Sobre el universo cilíndrico de Einstein, éste en principio consideró un modelo esférico del Universo en el que, a la hipótesis de homogeneidad e isotropía del espacio, añadió la de la independencia de su métrica respecto del tiempo (es decir que ni la densidad media ni las distancias varían de forma sistemática con la componente temporal del espacio-tiempo). Al calcular el elemento diferencial de línea en el caso límite de un dominio suficientemente pequeño, en que es válida la geometría pseudo-euclídea de la relatividad restringida, Einstein obtuvo que el tiempo estaba desligado de las coordenadas espaciales, en definitiva el tiempo fluye libremente como una dimensión no curvada del espacio-tiempo. De esta forma, el espacio-tiempo de cuatro dimensiones sería cilíndrico en esas cuatro dimensiones, siendo la coordenada que hace de eje la dimensión temporal.<sup>81</sup> Esta idea de Einstein fue muy criticada por otros cosmólogos relativistas, precisamente porque pareciera que otorgaba al tiempo un carácter absoluto. Más tarde, Einstein descartaría su propio modelo, admitiendo el universo dinámico de Friedmann.

Desde mi punto de vista, lo más interesante del estudio que hace Romañá del universo cilíndrico y estacionario de Einstein, es el análisis de cómo se introdujo la constante cosmológica en las ecuaciones de campo. En la mayoría de textos sobre relatividad y cosmologías relativistas se indica, sin profundizar en consideraciones matemáticas y/o conceptuales, que Einstein postuló esta constante para evitar el modelo dinámico que se deducía de sus propias ecuaciones, ya que por entonces se pensaba en el universo estático, antes del descubrimiento por Hubble de la expansión de las galaxias. En cambio, Romañá lo hace de forma clarificadora, demostrando que, como casi todos los desarrollos históricos de una teoría, el planteamiento no es tan sencillo. Los motivos de Einstein, fueron por una parte de tipo conceptual y por otra puramente matemáticos.

---

<sup>80</sup> En Otero Carvajal, "La cosmología relativista. Del universo infinito y estático al universo en expansión", *Umbrales* (Universidad de Puerto Rico), noviembre 2007, p 1-34, se hace un seguimiento histórico de las diferentes cosmologías relativistas con referencias de los artículos originales. También es útil Andrés García Manzano, *Filosofía Natural de las cosmologías relativistas*, Universidad Pontificia de Salamanca, 1995.

<sup>81</sup> Por similitud con un cilindro de tres dimensiones en las que un plano de dos dimensiones se curva sobre una tercera, que hace de eje para formar un plano en revolución, es decir un cilindro.

Por entonces Einstein creía firmemente en el principio de Mach, por el cual la inercia debe ser la expresión de una acción mutua entre todas las masas del Universo, es decir el campo de inercia definido por los potenciales gravitatorios  $g_{ik}$  debe quedar completamente determinado por la distribución de masa y energía totales. Esto indica que para determinar dichos potenciales hay que fijar las condiciones de contorno también en el infinito, lo que era imposible. Para solventar este problema, pensó que sus ecuaciones de campo debían contener soluciones en las que la densidad de materia fuera uniforme y el espacio se curvara de forma que fuera finito, aunque ilimitado. Para poder contener dichas soluciones tenía que modificar las ecuaciones de campo originales (hay que indicar que, efectivamente, en las ecuaciones de campo originales, las soluciones estacionarias implicaban un universo infinito, pero no así las dinámicas, como se demostraría más tarde).

En cuanto a la base matemática para la introducción de la constante cosmológica, del desarrollo del elemento de línea en el caso límite del espacio-tiempo de Minkowski, obtuvo Einstein las componentes del tensor métrico y del tensor de Ricci, que aplicadas a las ecuaciones de campo llevaban a la siguiente expresión, que relacionaba la presión con la densidad material:

$$p/c^2 + \rho/3 = 0.$$

Para que esta ecuación pudiera tener sentido físico, se hacía necesario una presión inicial negativa y constante, lo que precisamente era una paradoja en cuanto a interpretación física. Por este motivo, introdujo la constante cosmológica  $\Lambda$  en sus ecuaciones de campo, que ahora eran de la forma

$$G_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}G + \Lambda g_{ik} = -kT_{ik}.$$

y en la relación entre presión y densidad se evitaba la expresión sin contenido físico, calculando además la relación entre las constantes con la masa del universo y obteniendo

$$M = 4\pi c^3/k\Lambda^{1/2}.$$

Es interesante la reflexión que hace Román sobre el Universo cilíndrico de Einstein con la constante cosmológica y la polémica que engendró:

A la concepción einsteniana se objetó, con el tiempo, que con ella se restablecían para el Universo, como un todo, las nociones de espacio y tiempo absolutos. A ello respondió Eddington que la relatividad no niega la realidad de un tiempo absoluto, sino que éste se pueda deducir de ningún dato experimental conocido y que no hay que desconcertarse por ver reaparecer tal noción en una teoría de los fenómenos a escala cósmica, sobre la que no hay todavía datos experimentales: "Así como cada observador limitado tiene su propia distinción particular de espacio y tiempo, un ser coextensivo al Universo entero podría tener también una distinción especial de espacio y tiempo que le fuese connatural: a este tiempo de este ser no habría dificultad en llamarlo absoluto". En cuanto a las dificultades que también se le opusieron haciendo notar que la cantidad total de materia en un universo de radio dado quedaba

determinada por la ley de la gravitación, repuso el mismo Einstein que, precisamente, tal concepción estaba en estrecha armonía con el principio de Mach, según el cual el conjunto de masas del Universo es la causa de la inercia. Todavía otro inconveniente se objetó al universo de Einstein y esta vez fue el mismo Eddington quien lo propuso: de resultados de la relación antes expuesta entre el radio y la densidad el equilibrio del universo es inestable, a la menor perturbación tenderá a contraerse o dilatarse indefinidamente y, por lo tanto, no es posible considerar tal modelo como forma representativa del universo físico homogeneizado tomando la media estadística de las observaciones sobre la distribución de la materia sino a lo más como imagen de su estado inicial en una época pasada. Esta dificultad es válida y cabe por tanto concluir que, como por la irregularidades locales el universo real no habrá podido coincidir nunca con dicho modelo, cada vez se habrá ido apartando más de él y, por tanto, el modelo einsteniano no lo puede representar de modo permanente; con todo, es verosímil que en épocas pasadas haya estado más cerca de él que en la actualidad.<sup>82</sup>

Poco tiempo después de publicar Einstein su teoría cosmológica, De Sitter demostró que se podían satisfacer las ecuaciones de campo (con la constante cosmológica) en las que el Universo era estático y, además, el tiempo ya no era independiente del espacio, con lo que se revalorizaba la noción estricta del espacio-tiempo. De esta forma, De Sitter estableció el modelo esférico, conocido también como observablemente limitado. Romañá hace un análisis del elemento diferencial de línea obtenido por De Sitter, concluyendo que, para un sistema de referencia dado, cerca del origen de coordenadas presenta las propiedades de un espacio-tiempo galileano, pero a medida que se aumenta la distancia al origen, el Universo va presentando propiedades esféricas, donde el intervalo temporal comienza a ir más despacio respecto a la medición en el origen de coordenadas. También el Universo de De Sitter podía explicar satisfactoriamente el movimiento de recesión de las galaxias, no en el sentido de un universo en expansión, sino en cuanto a explicación del corrimiento al rojo por el hecho de que las vibraciones de los átomos parecerán más cortas para el observador situado en el origen de coordenadas. De esta forma, el Universo de De Sitter, aunque estático, se puede considerar como de transición a los modelos expansivos, como el de Friedmann.

Friedmann buscó soluciones a las ecuaciones de campo en base a una métrica en la que el espacio fuese función del tiempo, suponiendo así que la parte espacial tridimensional del Universo se expande y con ella los sistemas de coordenadas asociados. Ensayó así soluciones a las ecuaciones de campo con la métrica  $ds^2 = dt^2 - (R^2/c^2)d\sigma^2$ , donde  $R$  era una función exclusiva del tiempo  $R(t)$  y  $d\sigma$  el intervalo de una variedad espacial en tres dimensiones. Friedmann probó que los potenciales gravitatorios satisfacían las ecuaciones de campo, siempre y cuando la curvatura de la variedad definida por  $d\sigma$  fuera constante. Inicialmente, en 1922, probó sólo con los casos de curvatura constante en dos supuestos, nula y positiva. Años más tarde, Heckmann planteó la posibilidad de una curvatura negativa, pero en base al mismo

---

<sup>82</sup> Romañá, *Ibíd.*, p. 57 y 58.



modelo de Friedmann. El caso de curvatura cero indica un universo estático, para curvatura positiva indica un universo en expansión cerrado (hiperesférico) y el de curvatura negativa, también expansivo pero abierto (hiperbólico).

Para Romañá, de la gran cantidad de cosmólogos que se orientaron hacia modelos expansivos a partir del de Friedmann, la teoría más completa fue la de Lemaître en 1927, (denominada del átomo primitivo), quien consideró como válido el estacionario de Einstein en un estado inicial del Universo. Del análisis de las ecuaciones en los modelos de Einstein y Friedmann, dedujo Lemaître que el modelo de Einstein no era más que un caso límite y transitorio debido a que la situación de equilibrio inicial era en realidad inestable. Por lo tanto planteó la hipótesis en 1931 de un estado inicial casi puntual con una consiguiente expansión, hipótesis que se ha mantenido con el nombre de teoría del átomo primitivo de Lemaître. Según Romañá, el Universo de Lemaître es un caso particular del de Friedmann, en el que la masa total se mantiene constante y además su valor coincide con el establecido con Einstein en función de la constante cosmológica.

Otras cosmologías que hay que considerar importantes desde el punto de vista histórico son las basadas en modelos newtonianos, como la de Milne y McRea, basadas en la gravitación newtoniana y agregando una hipótesis en la que la materia está dotada en su conjunto de un movimiento de expansión. Así, en 1934 probaron que, combinando las ecuaciones clásicas de la hidrodinámica y la de Poisson, se podía representar el movimiento conjunto de las nebulosas y explicar otros fenómenos, que en principio parecían exclusivos de la relatividad general. Milne extendió su modelo al denominado "universo cinemático", teoría también conocida como relatividad cinemática de Milne, que provocó muchas controversias. Milne planteó dos características esenciales del Universo: su expansión, en cuya base se encuentra un elemento cinemático, y el tiempo como flujo, de tal forma que la expansión no es más que la manifestación suprema del flujo del tiempo. Milne se separa de la concepción geométrica del tiempo y lo reinterpreta como asociado a la Termodinámica mediante el segundo principio. Según Milne, no puede haber una medida fija del tiempo ya que asocia esta medida al tiempo propio "atómico", que sólo puede hacerse efectiva mediante fenómenos macroscópicos y, por tanto, depende de la escala usada. De hecho, en la teoría de Milne, se puede usar una escala para fenómenos cósmicos y otra para gravitatorios. Milne extendió su teoría a la gravitación, estableciendo una ley que determina las aceleraciones en función de la distribución estadística de las partículas libres. Romañá plantea serias dudas a este modelo, dudas que se justifican cuando hubo una posterior adaptación de la teoría de Milne, por parte de Robertson y Walker, donde recurren a procedimientos empleados en las teorías relativistas. A pesar de lo indicado, Romañá, sin postularse a favor de la teoría de Milne, defiende que ésta contiene méritos innegables como es la simplicidad de su modelo.

Para introducir el modelo conocido como el "uranoide" de Eddington, basado en las relaciones entre el macro y el microcosmos, se hace eco Romañá de la preocupación de Eddington por el hecho de que se hubiera fracasado en la unificación de la física cuántica con la relatividad general, a pesar de que Dirac consiguió unificar la primera con la relatividad restringida. El problema surgía porque se comprobó que el cálculo

tensorial no se podía aplicar en algunas expresiones de invariancia de la teoría del electrón, cuando se creía que dicha herramienta matemática era válida para tratar cualquier forma de invariancia. En el origen de este problema, según el brillante análisis de Romañá, están los intentos de emparentar los más profundos problemas de la estructura de la materia con la totalidad de la materia del Cosmos, mediante la relación entre constantes de la naturaleza del macrocosmos y del microcosmos, expresables por números puros adimensionales. Surgió así el modelo conocido como el del “Uranoide” de Eddington y, posteriormente, los de Dirac y Jordan.

Inicialmente, Eddington se postuló a favor de un universo finito porque la enorme relación entre la fuerza eléctrica y la gravitatoria entre dos electrones, del orden de  $4 \times 10^{42}$ , así como la relación entre los radios del electrón y el Universo, pensó debían estar relacionadas con el número total de partículas del Universo. En la expresión de Einstein que relacionaba la masa del Universo con su radio, sustituyó Eddington dicha masa por  $\frac{1}{2}Nm_p$ , con N el  $n^\circ$  total de protones del universo y  $m_p$  la masa del protón. De esta forma, partiendo de la expresión de Einstein para el cálculo de la masa total del Uiverso, relacionaba ahora Eddington la constante de gravitación, la de la velocidad de la luz y la masa del protón con la expresión

$$\frac{GNm_p}{c^2} = \pi R, \text{ modelo al que denominó } \textit{Uranoide}. \text{ La masa del electrón está}$$

determinada no solamente por su carga, sino también por las demás partículas del universo, encontrando la expresión

$$\frac{e^2}{m_e c^2} = \frac{R}{\sqrt{N}}. \text{ El primer miembro es aproximado a la expresión clásica del radio del}$$

electrón y el segundo lo dedujo Eddington mediante una aplicación del principio de incertidumbre de Heisenberg, tomando como origen del sistema fundamental del uranoide el centro de gravedad de las N partículas que lo componen, cuya incertidumbre de posición se puede expresar en función de su radio y del número de partículas, con lo que obtuvo la siguiente relación

$$N = \frac{\pi^2 e^4}{G^2 m_p^2 m_e^2} \text{ que da un orden de magnitud para } N \text{ de } 10^{79} \text{ y de } R \text{ } 10^9 \text{ años luz.}$$

Como indica Romañá “Esta tentativa de pesar y medir el Universo, a partir de los datos de la Física Atómica, no deja de ser uno de los *tours de force* más espectaculares de la Cosmología moderna”. Más tarde Eddingtoon construyó una nueva teoría de la relatividad en la que el número N desempeñaba un papel fundamental. Como siempre, Romañá, a pesar de que estas hipótesis de Eddingtoon se descartaron entre la comunidad científica, valora positivamente estos intentos “imaginativos”.

No obstante la audacia y el mérito intrínseco de sus cálculos, difícilmente ha de poder sobrevivir una teoría que se apoya tanto en coincidencias numéricas que cada nuevo descubrimiento no puede menos de afectar; sin ir más lejos, desde los tiempos de Eddington se han ido descubriendo muchas otras partículas subatómicas para las que no parece haber lugar en sus razonamientos. Quizás haya, pues, que concluir que, más que

como artífice de una obra consumada, Eddington debe ser admirado como artista inspirado, cuyas ideas geniales han excitado el interés y el entusiasmo de muchos y han servido de impulso poderoso para dirigir su atención hacia la posible unificación de conceptos antes inconexos. Por lo demás, los méritos de Eddington como astrónomo y astrofísico y, no menos como cosmólogo (recuerdese su intervención destacada en los primeros trabajos sobre la expansión del Universo) son tan indiscutibles que su fama no tiene que temer merma alguna porque haya quedado probablemente en sueño lo que fue el ensueño de sus últimos años.<sup>83</sup>

En cuanto a los modelos de Dirac y Jordan, al primero le causó gran impresión los valores que había en determinadas relaciones entre constantes: por ejemplo entre la atracción electrostática y gravitatoria del electrón y el protón ( $e^2/Gm_p m_e \approx 2,3 \times 10^{39}$ ); entre el radio de la parte observable del Universo y el del electrón ( $cH^{-1}/e^2 m_e^{-1} c^{-2} \approx 2,3 \times 10^{39}$ , con  $H$  la constante de Hubble); o entre la masa del Universo y la del protón [ $\rho_0 c^3 H^{-3}/m_p \approx (2,3 \times 10^{39})^2$ ]. Dirac pensó que los grandes números del orden de  $10^{39}$ ,  $10^{78}$ , ... que aparecían en las teorías físicas, abstracción hechas de su coeficientes numéricos, guardaban relación con el número  $p$  que representaba la edad del Universo computada en unidades atómicas, mediante la serie  $p, p^2, \dots$ , donde dicha unidad atómica es el tiempo que la luz invierte en recorrer el radio del electrón en el átomo de hidrógeno (del orden de  $10^{-23}$  segundos). Si se calcula el tiempo desde el comienzo de la expansión, en esos años establecido en  $7 \times 10^9$  años, resulta que en la época actual es aproximadamente  $2,3 \times 10^{39}$  sg. De esta forma, para épocas anteriores o posteriores, al variar  $p$ , deberían variar algunas de las constantes que intervienen en las relaciones anteriores. Por ejemplo, si la masa del Universo y la constante de gravitación son realmente constantes, la masa del protón ha de disminuir proporcionalmente a  $p^{-2}$  y la magnitud  $e^2/m_p m_e$  debe crecer proporcionalmente a  $p$ ; pero si son constantes las magnitudes atómicas, entonces la masa del universo debe crecer proporcionalmente a  $p^2$  y la constante gravitacional disminuir proporcionalmente a  $p^{-1}$ .

Para el segundo caso, Dirac buscó una solución aplicando la relatividad general, aunque Romañá defiende que este recurso a la teoría de Einstein no es fácilmente justificable, ya que en sus ecuaciones de campo precisamente  $G$  es constante. Dirac era consciente de este problema, que intentó solventar con un nuevo sistema de unidades cuya razón con las antiguas variara con el tiempo y así poder usar  $G$  como constante en las ecuaciones de campo. Romañá considera que el modelo de Dirac, en vez de basarse en el de simplificación, como el Principio Cosmológico Perfecto (homogeneidad e isotropía en el espacio y el tiempo), parece que se postula como de "complicación". Es de las pocas veces que Romañá toma partido criticando una teoría con cierto tono irónico, pero aun así refleja opiniones en defensa (aunque no cita de quienes):

Esto no obstante, como tampoco se puede decir que esté en contradicción franca con la observación, el principio de Dirac sigue teniendo partidarios que creen desarrollará todas sus potencialidades el día en que todas las

---

<sup>83</sup> Romañá, *Ibidem*, p. 96.

teorías atómicas y cósmicas sean formuladas de nuevo expresando todas las variables y en particular las de longitud, tiempo y masa en forma de cantidades sin dimensiones. En opinión de estos autores hay que conservar entre tanto la Cosmología de Dirac como una promesa de futuro.

Una nueva teoría basada en la de Dirac, y más desarrollada, fue la de Jordan, que postuló también unas relaciones entre constantes, aunque algunas de ellas nuevas, como la edad máxima de los astros. En su desarrollo, usó una generalización de la relatividad, conocida como relatividad proyectiva, inicialmente planteada por Kaluza en su universo de cinco dimensiones, donde el tensor de materia, en vez de las diez componentes originales, tiene quince: diez correspondientes al campo gravitatorio, cuatro al electromagnético y la restante a la constante de gravitación variable. En su teoría, Jordan justificaba la aparición de supernovas en el hecho de que en el universo cuadridimensional se puede realizar un corte, obteniendo espacios tridimensionales enteramente incomunicados entre sí que se podrían juntar por un giro en la cuarta dimensión. Una vez más, Romañá aun postulándose en contra de este tipo de teorías, defiende la capacidad de sus autores para enriquecer el conocimiento científico:

Como las teorías de Eddington y de Dirac también la de Jordan ha sido muy combatida, no sólo por las rarezas de su explicación de la aparición de supernovas, sino también porque muchos juzgan inadmisibles su interpretación del principio de conservación de la energía. Preciso es reconocer lo justificado de estas críticas; pero ello no obstante, repetimos, como ya hemos dicho anteriormente, que no se puede negar a todas estas tentativas de explicación el gran mérito de haber enriquecido la Cosmología y la Física Atómica con nuevos puntos de vista y haber contribuido a fortalecer la esperanza de poder encontrar por fin este campo unitario que podría dar fórmulas “universales” para explicar todos los procesos del Cosmos.<sup>84</sup>

El último modelo cosmológico analizado por Romañá es el universo estacionario de la escuela de Cambridge (Gold, Bondi, Hoyle y McCrea). A partir de 1948 Gold y Bondi, y posteriormente Hoyle, postularon una teoría del Universo en expansión, denominada de estado estacionario (que no estático), en el que se producía una creación continua de materia. Precisamente el carácter estacionario se debe a que se parte del principio cosmológico perfecto o fuerte, que sólo se podía mantener al equilibrar la expansión con la creación de materia y mantener así constante la densidad. A pesar de la enorme controversia inicial de este modelo, algunos autores defendieron la legitimidad para su estudio en la consideración de la validez de las leyes físicas en todo el universo y, por tanto, las condiciones físicas reinantes debían ser también similares. De esta forma, el tratamiento matemático lo realizaron Robertson y Walker estableciendo una métrica inicial, sin tener en cuenta el estado estacionario, similar a las de Friedmann y Milne pero en coordenadas polares. Al

---

<sup>84</sup> Romañá, *Ibídem*, p. 103.

aplicar la condición del modelo de estacionario, dedujeron que dicha métrica deriva en una general, de la que es un caso particular la establecida por De Sitter.

Por último, Romañá analiza las pruebas de las teorías cosmológicas, basadas en observaciones astronómicas. Dicho análisis lo considero más propio del campo observacional de la astronomía, por lo que lo trato en detalle en el apartado 4.10, dedicado a la relación entre astronomía y relatividad en España. Ya anteriormente cité el problema de una división radical entre diferentes temas, que en realidad se entremezclan, como es este caso, pero aun así considero más conveniente dicho tratamiento por cuestiones metodológicas.

#### 4.3.4. FÍSICA CUÁNTICA Y RELATIVIDAD.

En este apartado se van a analizar los aspectos directamente relacionados con la relatividad tratados en temas de mecánica cuántica relativista, espectroscopia atómica, electrodinámica cuántica, teoría cuántica de campos, física nuclear y partículas elementales. Hemos visto que uno de los aspectos destacados en la Física española de los años del "desarrollismo" fue la física nuclear, de la mano principalmente de la *Junta de Energía Nuclear*. Igualmente, muchos de los temas de interés de la época a nivel teórico fueron la física cuántica y especialmente las partículas elementales. Veremos los aspectos de estas disciplinas en los que aparecieron temas relacionados, aunque fuera indirectamente, con la relatividad. Aunque me parece oportuno adelantar, como ya he indicado anteriormente, que en este aspecto se puede concluir la unanimidad de los científicos españoles en cuanto a la asimilación de la relatividad.

En 1948 Ortiz Fornaguera publicó un trabajo sobre teoría corpuscular de la luz,<sup>85</sup> donde trató la teoría cuántica del campo electromagnético de Heisenberg y Pauli, posteriormente relacionada con la electrodinámica cuántica de Dirac, en la que se contemplan las correcciones relativistas para el electrón. Plantea Ortiz que la nueva teoría corpuscular de la luz, donde hay que considerar las relaciones entre materia y radiación, se puede estudiar bajo diferentes teorías cuánticas de campos. Él elige la de Heisenberg y Pauli por parecerle la más sencilla, aunque reconoce que no está exenta de dificultades. Recordemos que en 1928 Dirac logró demostrar que la teoría del espín, propuesta por Pauli en 1925 y que tuvo corroboración experimental, era una consecuencia de la mecánica cuántica relativista, obteniendo su ecuación para el electrón donde se contemplan los efectos relativistas. Pero esta teoría se consideraba matemáticamente incompleta, porque contenía singularidades. En 1929 Heisenberg y Pauli elaboraron una teoría del campo electromagnético que en resumen consiste en considerar las partículas como manifestaciones de un campo cuantificado, es decir las partículas y los campos ya no eran entes diferenciados. En realidad, las entidades fundamentales eran los campos, pero se manifestaban como partículas. En definitiva, con las aportaciones de Dirac por un lado, y Heisenberg y Pauli por otro, se establecieron los cimientos de la Electrodinámica Cuántica (QED), que es una teoría

cuántica de la interacción de la luz y la materia, en definitiva una teoría cuántica del campo electromagnético, que a su vez es una particularización de una más general, denominada Teoría Cuántica de Campos. La QED logró su formulación definitiva en 1948 con la contribución de Schwinger, Tomonaga y Feynman, donde se corregían las singularidades aparecidas en la teoría de Dirac y además se daba cuenta de todos los efectos de interacción luz-materia, basándose en la de fotón-electrón, aspecto del que carecía la inicial teoría de Heisenberg y Pauli. La nueva QED se considera ya asentada gracias a un éxito experimental vigente hasta hoy.<sup>86</sup>

Por lo tanto, en este año de 1948, parece lógico que Ortiz todavía no expusiera la formulación final de la QED, pero en el tema que nos ocupa, la relatividad, este trabajo de Ortiz, realmente profundo, tiene interés porque para tratar la cuantización de las ecuaciones de campo, hace un estudio previo de las ecuaciones del campo gravitatorio de Einstein, donde pone de manifiesto la analogía entre dichas ecuaciones y las de Lagrange de la mecánica analítica. Posteriormente, al estudiar la cuantificación del campo electromagnético, aprovecha la formulación canónica en coordenadas generalizadas, es decir la de la mecánica analítica de Lagrange y Hamilton, para realizar todo el desarrollo matemático de la teoría, donde toma vital importancia la relación entre masa y energía según lo establecido por la relatividad especial. Ortiz desarrolla matemáticamente el proceso de cuantificación del campo electromagnético, de tal forma que el campo se muestra como una “imagen macroscópica de un enjambre de corpúsculos (fotones) de masa propia nula, de energía e impulso que satisfacen las relaciones de Einstein”<sup>87</sup>. Además, el texto de Ortiz tiene el mérito científico de mostrar los problemas de la primera teoría cuántica del campo electromagnético, cuando constata un ejemplo de singularidad en la teoría que describe, y afirma:

... ya es mucho pedir que hagamos caso omiso de una energía infinita correspondiente al cero absoluto, a la ausencia total de fotones. Este singular resultado ha sido muy debatido, pero no parece haberse llegado a ninguna explicación satisfactoria.<sup>88</sup>

Este problema denunciado por Ortiz, se solucionaría en este mismo año de 1948, como ya hemos visto. En definitiva, a pesar de no ser un texto sobre relatividad, Ortiz demuestra un conocimiento riguroso de la nueva física, donde no se pueden despreciar las aportaciones de la teoría de Einstein. Especial importancia adquiere este documento cuando años después Palacios desarrolló una pertinaz crítica a la relatividad sin considerar las relaciones de ésta con la Física Cuántica.

En otro trabajo de 1952, Ortiz entró de lleno en cuestiones de teoría cuántica de campos<sup>89</sup>. En teoría de campos el tensor  $g^{ik}$  coincide con el que define la métrica del

<sup>85</sup> Ortiz Fornaguera, *Introducción a la teoría corpuscular de la luz*, CSIC, Monografías de ciencia moderna, Instituto “Daza de Valdés” de óptica, 1948.

<sup>86</sup> Ver Richard Feynman, *Electrodinámica cuántica*, Alianza Editorial, 1988 (edición original, *QED, The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton University Press, 1985). También es útil Patricio Díaz Pazos, *A horcadas en el tiempo* (libro inédito disponible en web [www.astrocosmo.cl](http://www.astrocosmo.cl)).

<sup>87</sup> Ortiz Fornaguera, *Introducción a la teoría corpuscular de la luz*, CSIC, 1948, p. 60.

<sup>88</sup> Ortiz Fornaguera, *Ibidem*, pág 52.

<sup>89</sup> Ortiz Fornaguera, “El análisis funcional con relación al formalismo de Dirac para sistemas dinámicos localizables”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 46, 1952, p 315-346.

espacio y se puede considerar que éste es semi-euclideo para variaciones infinitesimales del espacio-tiempo. Es decir, para las teorías cuánticas se puede atribuir al espacio-tiempo una estructura pseudoeuclidea, la establecida por la relatividad restringida, en la que los sistemas de coordenadas estarán formados por coordenadas cartesianas ortogonales.

Según Ortiz, hay que considerar el comportamiento de las hipersuperficies espaciales del espacio-tiempo desde el punto de vista de las relaciones físicas y métricas, que son fundamentales en la formulación relativísticamente invariante de la teoría de campos. Además, en una hipersuperficie de este tipo, las condiciones físicas en un punto no pueden influir sobre las condiciones físicas en otro punto sin violar la teoría de la relatividad especial, por lo que el tipo más general de sistemas de mediciones compatibles, para la cuántica relativista, debe darse en dicha hipersuperficie.

Del desarrollo matemático concluye Ortiz que la condición necesaria para que una hipersuperficie sea espacial es que sobre ella, y en cualquier referencia de Lorentz, el tiempo sea una función uniforme de las coordenadas del espacio. Obtiene también las reglas de conmutación que aparecen en el formalismo relativista de Dirac.

Uno de los conceptos fundamentales en el estudio de Ortiz es el de variables localizadas. Las magnitudes vinculadas a un punto se dice que son magnitudes funcionales localizadas y las que no están vinculadas son no localizadas. Desde un punto de vista más general, las variables dinámicas de un sistema dinámico pueden clasificarse en localizadas o no localizadas, según describan las condiciones físicas en un punto del espacio-tiempo o en una región del mismo. Dirac define un *sistema dinámico localizable* cuando existe una representación del mismo en el que las variables dinámicas son localizables. Pero en esos años todavía no estaba resuelto el problema relativo a si los sistemas microscópicos son o no localizables. Algunos de los físicos más prestigiosos en teoría cuántica de campos, como Yukawa, desarrollaron una teoría de los *sistemas no-localizables*. Ortiz decide centrarse en los localizables, donde en la aplicación para la mecánica cuántica relativista se pueden adoptar los formalismos de Heisenberg y Schrödinger con las correspondientes modificaciones.

Para ello se debe introducir el operador  $A$  análogo al operador  $i\hbar \partial/\partial t$  en la ecuación de Schrödinger  $i\hbar \partial\Psi/\partial t = H\Psi$ , operador que permite calcular la variación de la función de onda  $\Psi(t)$  cuando se deforma el hiperplano  $x^0 = ct$  pasando al  $x^0 = c(t+\epsilon)$ . También plantea la representación de Heisenberg en formulación relativista.

Otra de las primeras aproximaciones a la teoría de Dirac apareció de la mano de Foz en 1941, con el trabajo "Un aspecto de la materialización de la energía según la teoría de Dirac"<sup>90</sup>, cuya intención es presentar una aclaración de los resultados de Dirac relativos a la materialización de la energía basados en consideraciones cuantico-relativistas. El autor resalta la dificultad matemática de esta teoría, que expone sin tratamiento matemático, sólo conceptualmente. De las ecuaciones cuantico-relativistas para el electrón, formuladas por Dirac en 1928, se deducía teóricamente la existencia

---

<sup>90</sup> Foz, O.R., "Un aspecto de la materialización de la energía según la teoría de Dirac", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 37, 1941, p 22-24.

de partículas que deben tener energía cinética negativa y que se comportaban en un campo electromagnético como cargadas positivamente, a las que se denominó positrones, siendo descubiertos años después por Anderson. Como no se entiende una partícula con energía negativa, en realidad lo que ocurre es que los distintos estados cuánticos (él dice “cuantistas”) posibles para las partículas con supuesta energía negativa se hallan provistos por un electrón que cuando gana energía, convirtiéndola en positiva, en el sistema aparece un agujero que tiene energía positiva (ya que es un lugar donde falta energía negativa) y se comporta como una partícula, que es el positrón. Cuando un electrón ordinario cae en el agujero y lo llena desaparecen el electrón y el positrón y la energía liberada en la caída surge en forma de radiación electromagnética. Inversamente, por absorción de energía puede crearse un agujero y aparecer una pareja positrón-electrón. Esto da idea de la materialización de la energía y de la corta vida de los positrones (que sólo existen cuando se excita un electrón).

Explica Foz los fenómenos de materialización y desmaterialización de energía, que son equivalentes a los de emisión y absorción de energía radiante en el tránsito de niveles de energía de los electrones, según la teoría de Bohr. La conclusión más interesante en relación con la relatividad, viene dada por las siguientes palabras del autor:

También es sugestivo el modo como la teoría de Dirac ilustra sobre el origen relativista de la equivalencia masa y energía; la materialización de la energía surge en ella como una consecuencia teórica de la existencia de electrones con energía negativa que, a su vez, viene impuesta por las condiciones relativistas del problema.<sup>91</sup>

Sobre la predicción del positrón hemos visto en el apartado dedicado a cuestiones históricas de la relatividad, el excelente análisis del desarrollo histórico de las ecuaciones de Dirac y la predicción teórica del positrón, a cargo del ingeniero Gutiérrez en 1943. Sobre dicha predicción a nivel conceptual cabe destacar, aunque hay abundantes referencias que he omitido por no aportar nada novedoso, una memoria de la Academia de Ciencias de Barcelona<sup>92</sup> escrita por Vidal Llenas, donde realiza un repaso histórico a los descubrimientos de las sucesivas partículas elementales, en el que, relacionado con el tema que nos ocupa, la relatividad, explica la predicción de la existencia del positrón. En la bibliografía primaria consultada hay múltiples referencias a este hecho, pero desde el punto de vista conceptual, la de Vidal Llenas considero es una de las más completas, como se puede comprobar en su propio texto:

Dentro del desarrollo de la mecánica cuántica, que tantos frutos ha obtenido en el estudio de las cuestiones ligadas a la corteza atómica, en 1928 Dirac demostró que el spin  $\frac{1}{2}$  del electrón era una consecuencia de la teoría de la relatividad, si las propiedades de la partícula debían ser las mismas para un observador que se movía con la partícula que para un observador estacionario. Pero la ecuación de Dirac también es apta para

---

<sup>91</sup> Foz, O.R., *Ibidem*, p. 24.



describir partículas que, teniendo la misma cantidad de movimiento, posean una energía negativa. Tales partículas, hasta entonces nunca observadas, sometidas a un campo eléctrico capaz de acelerar los electrones ordinarios, experimentarían una aceleración negativa. En 1934, Dirac propuso aceptar todas las soluciones de su ecuación, de modo que tenía que haber electrones con energía negativa. Hay que suponer que los electrones con energía negativa existen de la misma manera que los electrones ordinarios, pero son tan abundantes que en el estado normal del Universo que habitamos están cubiertos todos los posibles estados de energía negativa, motivo por el cual, de ordinario, no son observables tales partículas. Imaginemos que un electrón con energía negativa reciba energía suficiente (por ejemplo absorbiendo un fotón  $\gamma$ ) para pasar a un estado de energía positiva. Habrá aparecido un electrón ordinario y habrá quedado un hueco en el “mar” de electrones de energía negativa. El hueco supone ausencia de energía negativa y ausencia de carga negativa, de modo que equivale a la presencia de energía positiva de una carga positiva, idéntica por lo demás al electrón ordinario. De aquí el nombre de positrón con el que se le designa. El cuanto  $\gamma$  se habrá materializado en un electrón y un positrón: se dice que se ha creado un par electrónico.

En un principio se consideró como una falla de la teoría de Dirac el que llevara a tales soluciones, pero hoy en día es una de sus más brillantes cualidades, pues en 1933 Anderson demostró experimentalmente la existencia del positrón. De la teoría de Dirac resulta, pues, que todas las partículas de la naturaleza existen a pares y a cada partícula corresponde una antipartícula de la misma masa y el mismo espín, pero de carga opuesta. La importancia de la obra de Dirac reside en que descubre que se puedan crear partículas materiales mediante un aporte de energía; la producción de pares electrónicos no es la única posibilidad existente a este respecto.<sup>93</sup>

Uno de los principales autores en españoles en física cuántica fue Luis María Garrido Arilla, quien escribió varios trabajos en *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* y en revistas extranjeras, así como un ambicioso trabajo denominado “Cinemática Cuántica Relativista”<sup>94</sup>, publicado en dos partes, en 1958 y 1959, en la revista de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza, que posteriormente aparecería como libro completo editado por la misma academia en 1961 y también en 1963 con el título de *Mecánica Cuántica* con pequeñas modificaciones<sup>95</sup>. Sobre cuestiones genéricas de relatividad ya hemos tratado las referencias habidas en esta obra.

Al realizar una síntesis histórica de la relatividad especial y general y de la mecánica cuántica, nos informa Garrido que ya el mismo Einstein creyó que la relatividad

<sup>92</sup> Vidal Llenas, “partículas elementales” *Memorias de la R. Acad. Ciencias de Barcelona*, v. 34, nº 10, sesión 15 de Noviembre 1962, p 227-243.

<sup>93</sup> Vidal Llenas, *Ibídem*, 1962, p. 229.

<sup>94</sup> L.M. Garrido, “Cinemática cuántica relativista”, *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*, tomo 13, fasc 2º, 1958, p 197-263; tomo 14, fasc. 1, 1959, p 9-72.

<sup>95</sup> L.M. Garrido, *Mecánica cuántica*, Rialp, 1963.

general debía formar parte importante de la física del microcosmos, pero en cualquier caso en la comunidad científica quedó claro que, como mínimo, era necesario fundir en una sola síntesis la relatividad restringida y la mecánica cuántica, empezando dicha síntesis por la teoría del electrón de Dirac en 1927, así como el efecto Lamb en 1947, conseguido gracias a las ideas de Schwinger.

El objeto de este profundo trabajo de Garrido es exponer la cinemática cuántica de forma compatible con la relatividad restringida, que en 1958, cuando publica Garrido su trabajo, formaba ya un cuerpo de doctrina asentado, aspecto que todavía no se daba en la unión de la física cuántica con la relatividad general. Para fundir la teoría restringida de Einstein y la mecánica cuántica hay que introducir, según Garrido, un álgebra de la medida que sea compatible con dicha síntesis, debiéndose presentar un principio dinámico que sea válido en cualquier sistema Lorentz. Así pues, por las características de la física microscópica (cuantización, naturaleza estadística, dualidad onda-partícula) se requiere una nueva formulación de la teoría de la medida en la que se contemple la interacción de la medida con el sistema y el carácter estadístico.

En Mecánica Clásica se podía manejar el concepto de sólido rígido porque sus dimensiones son invariantes bajo transformaciones de coordenadas. Otra forma de entender el concepto de cuerpo rígido es que si se aplica una fuerza que lo mueva o rote, todos sus puntos se mueven simultáneamente, lo que indica que la acción de la fuerza se ha propagado con velocidad infinita. Pero esto no ocurre en mecánica relativista, es decir no tiene sentido hablar de sólidos rígidos, donde, por la contracción de Lorentz, las dimensiones no serían las mismas vistas desde un sistema en movimiento. Además, los puntos de dicho sólido no se pueden mover simultáneamente por la acción de una fuerza exterior, ya que dicha interacción no se puede propagar con velocidad mayor que  $c$ , no puede ser infinita. Este es el motivo por el que, según indica acertadamente Garrido, para estudiar los cuerpos hemos de considerarlos como campos. Evidentemente, para velocidades pequeñas de cuerpos macroscópicos se puede utilizar la aproximación de sólido rígido, pero para partículas elementales, que en principio no tienen partes constituyentes, pero que al no tener radio nulo tienen una distribución de materia en el espacio, hay que considerar las interacciones mediante campos. Esta es la explicación de Garrido, excelente en mi opinión, del porqué la Mecánica Cuántica Relativista nos lleva a la Teoría Cuántica de Campos.

En cuanto a los fenómenos dinámicos, la energía interna de un cuerpo  $m_0 c^2$  contiene, además de la energía en reposo de cada una de sus partes, la energía de enlace entre dichas partes, por lo tanto, en mecánica relativista no es válida la ley de conservación de la masa, ya que  $M_0 \neq \sum m_0$ , pero sí la de la energía total, en la que se incluye la asociada con la masa en reposo, siendo la energía de enlace del cuerpo la siguiente  $(M_0 - \sum m_0) c^2$ . Esta idea tendrá una importancia capital en la física nuclear y de partículas, con lo que tenemos otro nexo de unión entre la relatividad especial y la mecánica cuántica. Por lo tanto, la mecánica cuántica que se construya ha de estar de acuerdo con el principio de relatividad, es decir hemos de utilizar en su formulación exclusivamente cantidades físicas cuyas leyes de transformación se establezcan bajo el grupo de Lorentz (en el caso más general, no sólo en el particular usado en la

cinemática relativista y que es el conocido), por lo tanto deben intervenir únicamente escalares, vectores y tensores. En particular, hay que tener en cuenta que las operaciones de medida de las propiedades físicas de un sistema han de hacerse en puntos de una superficie espacial  $\sigma$ . Además, no podremos exigir la medición simultánea de todas las propiedades de un sistema, por lo que hay que construir el Algebra de la Medida asociada a las superficies espaciales donde realizamos los experimentos. Pero, a su vez, la probabilidad de que una partícula que estaba en un punto  $(x_1)$  llegue a otro punto  $(x_2)$  debe ser independiente de la superficie espacial  $\sigma = \sigma(x)$  que, conteniendo al punto  $x_1$ , hayamos utilizado para realizar las medidas de la partícula. Este principio debe ser extensible a todo tipo de resultados que obtengamos según el tipo de medidas y partículas. En definitiva, hay que conseguir que dicho resultado, es decir la probabilidad indicada anteriormente, sea independiente de la superficie  $\sigma$  elegida.

En cuanto a la dinámica cuántica, sólo pueden ser aceptables las ecuaciones del movimiento que sean covariantes. Para ver cómo han de ser estas ecuaciones conviene denominar como el operador  $\partial_\mu$  a la derivada parcial respecto de  $x_\mu$ , es decir  $(\frac{\partial}{\partial x_\mu})$ . Las ecuaciones de movimiento, en general, deben ser en derivadas parciales, por lo que hay que ver cómo se transforma el operador indicado.

Si consideramos  $\frac{\partial}{\partial x'_\mu} = \frac{\partial x_\nu}{\partial x'_\mu} \frac{\partial}{\partial x_\nu}$  tenemos que  $\partial'_\mu = a_{\mu\nu} \partial_\nu$

Si tenemos un vector  $A_\mu$ , podemos considerar dos ecuaciones válidas para las funciones  $\psi$  y  $\phi$  que queremos estudiar, de la forma

$$(A_\mu \partial_\mu + k) \psi(x) = 0$$

$$(\partial_\mu^2 + k) \phi(x) = 0 \text{ (conocida como ecuación de Klein-Gordon) donde } k \text{ es un escalar.}$$

Además de esta importante obra en la bibliografía de la física española, hay que destacar algunos trabajos más especializados de Garrido sobre física nuclear, aparecidos en 1958 y 1959 y propios de revistas científicas. Por ejemplo, dos artículos titulados "Propagador del nucleón" directamente relacionados con la electrodinámica cuántica donde obtiene las ecuaciones de campo cuánticas.<sup>96</sup> Más relacionado con cuestiones asociadas a la relatividad, como la invarianza Lorentz, es el que escribió en 1959 en colaboración con P. Pascual<sup>97</sup>, donde se presenta el formalismo canónico para la teoría del electrón propuesta por Feynman en 1958. Esta teoría describe la interacción de Fermi, en concreto la no conservación de la paridad (comprobada experimentalmente en la desintegración  $\beta$  y que ha contribuido a esclarecer de forma definitiva el mecanismo de la desintegración). La hipótesis de Fermi consiste en que un núcleo puede emitir partículas  $\beta$ , proporcionalmente a la densidad de corriente

<sup>96</sup> Garrido Arilla, Luis María ( de la J.E.N, Madrid), "Propagador del nucleón", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A, Física, v 54-A, 1958, págs 143-160 y "Propagador del nucleón II. Conversión de las ecuaciones funcionales del campo nuclear", *Anales*, 1958, p 161-162.

<sup>97</sup> Garrido Arilla y P. Pascual de Sans, "El electrón de la interacción universal de Fermi", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 55A, 1959, p. 5-12.

asociada con la transformación del neutrón en protón y a la cantidad semejante asociada con el electrón y el neutrino. Una generalización de este fenómeno lleva a aplicar el hamiltoniano de interacción asociado con la desintegración. Dicho hamiltoniano es función de los campos del protón, neutrón, electrón y neutrino, representados por  $\varphi_p$ ,  $\varphi_n$ ,  $\varphi_e$ ,  $\varphi_\nu$  respectivamente. Este hamiltoniano debe ser invariante bajo transformaciones de Lorentz. Uno de los problemas de la época en la física teórica era explicar el fallo de la conservación de la paridad. Las teorías de partículas elementales investigaban el comportamiento de dichas partículas en el espacio de Minkowski de acuerdo con el grupo de Lorentz. Vemos en este ejemplo otro caso más en que, sobre cuestiones de física cuántica, se asumía aspectos cruciales de la teoría de la relatividad.

Ya antes, en un artículo de divulgación aparecido en *Physicalia*, Garrido había mostrado la importancia de conciliar la física cuántica con la relatividad.<sup>98</sup> Muchas de sus ideas sobre los intentos de conciliar la relatividad con la cuántica son síntesis brillantes, que creo conveniente transcribir textualmente:

El descubrimiento de la teoría de la relatividad por Alberto Einstein a principios de siglo, nos proporcionó una nueva herramienta para suprimir muchas de las dificultades con que inicialmente tropezara Gauss.<sup>99</sup> Pero inmediatamente surgieron otros muchos escollos, entre los cuales hay que citar el hecho de que la teoría de la relatividad es incompatible con una partícula elemental extensa, por muy pequeño que sea el volumen de tal partícula: únicamente es reconciliable con el concepto de partícula elemental sin volumen alguno, es decir, reducida a un punto matemático.

Ahora bien, Einstein se basó, para deducir su teoría, en el experimento de Michelson Morley, realizado en el macrocosmos, mientras que las partículas elementales pertenecen al microcosmos, cuyas dimensiones son mucho más pequeñas que el átomo. Por consiguiente, no hay razón alguna que justifique *a priori* la aplicabilidad de la teoría de Einstein a tales partículas. Si no fuera aplicable, las partículas físicas, que indudablemente tienen extensión, serían compatibles con nuestro formulismo matemático.

Sin embargo, las reacciones nucleares y el movimiento de partículas aceleradas por medio de máquinas de gran voltaje (ciclotrones, etc), han confirmado que la teoría de la relatividad es válida para los fenómenos que tienen lugar en el microcosmos. En especial la fórmula  $E=mc^2$  consecuencia directa de la misma teoría, que implica la conversión de la masa material en energía pura, y viceversa, ha sido comprobada plenamente, y es el fundamento de las aplicaciones industriales de la física nuclear.

Si, pues, la teoría de la relatividad es válida para el microcosmos, hemos de estudiar cómo hay que aplicarla a las partículas elementales. Parece

---

<sup>98</sup> L.M. Garrido Arilla, "Las partículas elementales según Heisenberg", *Physicalia*, nº 31 1958, p 5-14.

que, de las dos formas en que Einstein formuló su teoría-restringida y general-, la teoría de la relatividad restringida es la que verifican los cuerpos del microcosmos. Esto es así porque la teoría general implica una cierta curvatura del espacio, y para medir tal curvatura dentro de un átomo tendríamos que usar fuerzas mucho más poderosas que lo que tratamos de medir, con lo que llegaríamos a destruir el mismo fenómeno que intentamos estudiar; además, la curvatura del espacio en un volumen tan pequeño, tendría un efecto físico insignificante.

Un punto de vista mantenido con bastante insistencia hoy en día es que la teoría de la relatividad restringida ha de ser aplicada a todo el volumen exterior a una partícula elemental; pero no a su volumen interno, es decir, a su estructura íntima. Se razona observando que los cálculos hechos de acuerdo con la teoría de Einstein con partículas cuyo radio es pequeño, han dado resultados que concuerdan mejor con los datos experimentales que los que se refieren a partículas de mayor volumen. [...]

La teoría restringida de la relatividad y la mecánica cuántica deben ser aplicadas simultáneamente para estudiar las partículas elementales. Para hacerlo tuvimos que esperar hasta 1948, año en que el japonés Tomonaga dio por primera vez un formulismo que combina la relatividad con la mecánica cuántica de una forma adecuada. El resultado fue la teoría de campos cuánticos, que hasta entonces se había desarrollado muy imperfectamente.

Poseíamos ya un arma apropiada, al menos en principio, para estudiar los procesos propios de las partículas elementales. Se aplicó tal formulismo a los procesos luminosos, y el resultado ha sido sorprendentemente bueno: se pueden predecir los fenómenos de la electrodinámica con un error menor que uno entre un millón.<sup>100</sup>

A pesar de esta necesidad de compatibilizar física cuántica y relatividad especial, Garrido se hace eco de los problemas señalados por la teoría de Heisenberg de partículas elementales, por la cual, en el microcosmos, con volúmenes de radio del orden de  $10^{-13}$  cm, existen desviaciones de la teoría especial de la relatividad, debido a que en estas dimensiones los conceptos de espacio y tiempo presentan peculiaridades que hacen posible que exista una velocidad mayor que la de la luz.

El anterior colaborador de Garrido, P. Pascual (que también fue colaborador de Galindo en física cuántica) publicó en 1961 un trabajo de teoría cuántica de campos en el que se usa de forma determinante algunas de las herramientas de la relatividad especial<sup>101</sup>. Planteó las dificultades de usar el formulismo lagrangiano en el estudio teórico de las interacciones entre partículas elementales. Se hace necesario estudiar las transformaciones de Lorentz y otras simetrías en aplicación a las ecuaciones de

---

<sup>99</sup> Se refiere Garrido a las dificultades de Gauss para tratar matemáticamente la idea de campo electromagnético asociada al concepto de partícula elemental como ente unitario, lo que lleva a contradicciones formales que no pudo solventar.

<sup>100</sup> L.M. Garrido Arilla, "Las partículas elementales según Heisenberg", *Physicalia*, nº 31 1958, p 7-8.

campo de las partículas elementales. Para el estudio de las simetrías considera primero el grupo de Lorentz homogéneo, definido por el conjunto de transformaciones de la forma

$$x'_{\mu} = a_{\mu\nu} x_{\nu}$$

$I_m(a_{ik}) = I_m(a_{44}) = 0$  ;  $R_e(a'_{i4}) = R_e(a_{4i}) = 0$ ; Donde los índices griegos van de 1 a 4 y los latinos de 1 a 3

Este grupo deja invariante la forma cuadrática fundamental

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 = \delta_{\mu\nu} x_{\mu} x_{\nu} \quad \text{donde } x_4 = ict$$

La importancia de este grupo es que toda cantidad física se puede representar como la componente de un tensor, de tal forma que las ecuaciones asociadas deben quedar invariantes bajo la aplicación de dicho grupo. Para determinar las características de un determinado tensor hay que estudiar el comportamiento de algunas de sus componentes bajo las dos transformaciones que suponen una reflexión espacial y una inversión temporal. Para ello se consideran los campos cuánticos, tanto el escalar, el vectorial, como el de Dirac, donde el operador campo incluye una componente para el espín. También hay que contemplar el operador que realiza la transformación partícula-antipartícula.

Pascual también analizó la cuestión de ver si existe alguna transformación lineal tal que, al actuar sobre los operadores y los vectores, deje la teoría de campos invariante bajo la inversión temporal, concluyendo que no existe ningún operador lineal de este tipo, sino que debe ser un operador no lineal.

Otro problema asociado a la teoría cuántica de campos es el relativo a las transformaciones más convenientes en el campo de la mecánica cuántica relativista, problema del que resultó la propuesta de las transformaciones de Foldy-Wouthuysen. Varios autores españoles realizaron contribuciones relacionadas con estas transformaciones, en especial Garrido, que trabajó sobre dichas transformaciones en colaboración con otros físicos españoles, como Pascual, Sesma, Biel y Oliver, publicándose varios artículos en revistas extranjeras prestigiosas.

Veamos sintéticamente en qué consisten estas transformaciones: La ecuación de Dirac, en el límite no relativista, es equivalente a la teoría de los componentes de Pauli. Esta teoría se refiere a que la función de onda en el hamiltoniano de Dirac se puede descomponer en dos componentes, que pueden considerarse como vectores del espacio de los estados. A su vez, partiendo de las ecuaciones de Pauli, es posible obtener las correcciones relativistas de orden superior, obteniéndose una ecuación que es en principio válida para el supuesto relativista. Pero esta ecuación tiene el problema de que no es una ecuación de valores propios, requisito que cumplía la ecuación original de Dirac, en similitud con la ecuación de Schrödinger. Para evitar este problema, Foldy y Wouthuysen propusieron en 1958 un método que permitía aproximarse a la ecuación de Dirac mediante una teoría de dos componentes para cualquier orden del cociente  $v/c$ , en la que se efectuaba una transformación unitaria,

---

<sup>101</sup> P. Pascual, "Partículas y simetrías", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, v 57(A), 1961, p 15-28.

convenientemente elegida, sobre la función de onda y los operadores asociados. Esta transformación diagonaliza el hamiltoniano de Dirac<sup>102</sup>.

En 1959, partiendo de la teoría cuántica de campos establecida por Umezawa en 1956, Garrido y Pascual presentaron un método general para diagonalizar el hamiltoniano de partículas de espín arbitrario. En particular estudiaron el caso de espín 0,  $\frac{1}{2}$  y 1 concluyendo que en el caso de espín  $\frac{1}{2}$  su transformación propuesta es acorde con la de Foldy-Wouthuysen.<sup>103</sup> En 1962 Garrido y Sesma estudiaron las transformaciones para el hamiltoniano de partículas con diferente valor de espín<sup>104</sup>. En 1964 J. Sesma, J. Biel y L.M. Garrido demostraron, en un trabajo aparecido en *American Journal of Physics*,<sup>105</sup> la analogía entre las transformaciones de Lorentz y las de Foldy-Wouthuysen generalizadas (transformaciones que diagonalizan el hamiltoniano de partículas con espín 0,  $\frac{1}{2}$  ó 1 y establecidas por Garrido y Pascual en 1959). También obtienen, generalizando los resultados obtenidos, una relación entre las transformaciones de Garrido-Sesma (que son una extensión de las anteriores y fueron establecidas por los autores españoles en 1962). Hay que notar que este tipo de transformaciones es para partículas. Se aplica el grupo de Lorentz  $x'_{\mu} = a_{\mu}^{\nu} x_{\nu}$  a las ecuaciones de campo de partículas con espín 0,  $\frac{1}{2}$  ó 1 (ecuaciones establecidas por la teoría cuántica de campos) de tal manera que éstas se mantengan covariantes, lo que implica unas relaciones en las que están involucradas las diferentes matrices asociadas a las partículas, según sean de espín 1,  $\frac{1}{2}$  ó 0. La ecuación de campo de una partícula escrita en forma hamiltoniana en principio no es covariante bajo una transformación de Lorentz, de ahí el buscar otras transformaciones como las de Garrido-Pascual, indicadas anteriormente. Pero se demuestra posteriormente que ambas transformaciones, con adecuados cambios de variables, son semejantes, de tal forma que a la transformación general que diagonaliza el hamiltoniano de una partícula le corresponde una transformación de Lorentz. Es de señalar que se obtienen unas ecuaciones de campo compatibles con la relatividad, para las que hay que considerar el límite clásico a velocidades pequeñas.

Jesús Biel, ahora en solitario, realizó una versión modificada de este trabajo, aparecida ahora ya en España, en los *Anales de Física*,<sup>106</sup> en otro ejemplo de publicación sobre teoría cuántica de campos donde sí aparece implícita la relatividad, basado en los citados trabajos de Garrido y Pascual, (*Nuovo Cimento*, 1959) y de Garrido y Sesma, “Los observables de partículas relativistas” (1962).

En 1967 Garrido y Oliver presentaron una extensión de la transformación de Foldy-Wouthuysen para partículas de espín arbitrario interactuando con un campo

<sup>102</sup> Para más información véase, Albert Messiah, *Mecánica cuántica*, tomo II, Editorial Tecnos, Madrid, 1965, en concreto Quinta Parte, “Elementos de mecánica cuántica relativista”, p 827-996.

<sup>103</sup> L.M. Garrido y Pascual, “Diagonalization of Hamiltonian”, *Nuovo Cimento*, vol 12, 1959, p 181-190.

<sup>104</sup> L.M. Garrido y J. Sesma, “Observables de partículas relativistas”, *Collectanea Mathematica*, 1962, p 279-286. También aparecido en *American Journal Physics*, v 30, 1962, p 887.

<sup>105</sup> J. Sesma, J. Biel y L.M. Garrido, “Relation between Generalized Foldy-Wouthuysen and Lorentz Transformations”, *American Journal of Physics*, 1964, p 559-562.

<sup>106</sup> Biel, J, “Analogía entre transformaciones de Lorentz y las que diagonalizan los hamiltonianos” *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 62(A), 1966, p 119-127.

electromagnético.<sup>107</sup> Obtuvieron las ecuaciones correspondientes para partículas de espín 0,  $\frac{1}{2}$  y 1 en el límite no relativista. Para ello se basaron también en los resultados obtenidos por otro físico español, Javier Sesma, que estudió los casos de espín 0 y 1 partiendo de las ecuaciones relativistas para espín arbitrario, basadas en unas nuevas transformaciones encontradas por Chakrabarti.<sup>108</sup> Javier Sesma Bienzobas es licenciado en físicas por la Universidad de Zaragoza, doctor en Físicas por la Universidad de Barcelona en 1964, y fue profesor en las universidades de Barcelona, Valencia, Central de Venezuela y Zaragoza.

Resulta igualmente interesante el artículo de Garrido, “Mecánica Clásica en el Espacio de Hilbert”<sup>109</sup>, aparecido en 1961 en *Collectanea Mathematica*, la revista del seminario matemático de la Universidad de Barcelona. Es un desarrollo de la dinámica clásica en el formalismo matemático de la mecánica cuántica, es decir, la intención es trasladar las técnicas particulares de la mecánica cuántica al dominio clásico. Se trata de aplicar a la teoría de perturbaciones de la dinámica clásica, por ejemplo con aplicaciones en mecánica celeste y teoría de plasma termonuclear, los conceptos de operador lineal, autovalores que permiten formular las leyes de conservación e invariancia. En principio no se indica ninguna aplicación a la física relativista, pero en teoría este formalismo bien podría incorporarse a dicha disciplina. En mi opinión, no está clara esta posible aplicación pero teóricamente sería posible, ya que en el ámbito de la física cuántica se interpreta a la relativista como perteneciente al dominio clásico en el sentido de dominio macrosocópico en el que los fenómenos no son discretos.

Por otra parte, vimos anteriormente, en el apartado 4.3.2, que Mojena Díaz presentó dos trabajos sobre teoría electromagnética relacionados con la relatividad. En el segundo de ellos<sup>110</sup> contempla la ecuación de Klein-Gordon para partículas de naturaleza escalar (con espín 0) y la de Proca-Kremer para partículas vectoriales con espín 1, que considera más apropiado, porque, desde el punto de vista de la física teórica, la luz es un fenómeno de naturaleza vectorial, o siendo más precisos, tensorial. Aunque el desarrollo de este artículo excede el propósito de nuestro objetivo, centrado en el tratamiento de la relatividad por los científicos españoles, me parece conveniente destacar que Mojena, ante la polémica del momento sobre la existencia de partículas con espín 1, toma partido por el planteamiento de Proca y deduce la expresión para la distribución de energía de dichas partículas (siempre siguiendo a los autores que trabajaban por esos años sobre electrodinámica cuántica, como Aharoni, Umezaga, Schwinger o el físico argentino González Domínguez). Del resultado concluye que el espín se puede asociar como un impulso o medida de Dirac de la energía extendida a todo el campo de la onda, pero cuando la energía es muy alta en un punto alejado del observador, hipótesis de importancia en cosmogonía, se obtiene un valor pulsatorio del espín que concuerda con resultados asociados a la teoría de la relatividad.

---

<sup>107</sup> L.M. Garrido y L. Oliver, “On the Foldy-Wouthuysen Transformation for Particles in a Electromagnetic Field”, *Nuovo Cimento*, vol 52A, 1967, p 588-605.

<sup>108</sup> J. Sesma, “On the Chakrabarti transformation”, *Journal Mathematical Physics*, vol 7, 1966, p 1300.

<sup>109</sup> Garrido, “Mecánica Clásica en el Espacio de Hilbert”, *Collectanea Mathematica*, 1961, p 219- 240.

<sup>110</sup> Mojena Díaz, Mariano, “Consideraciones sobre la Teoría Electromagnética” *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 55, 1961, p 549-561.



Sobre aspectos de espectroscopia atómica relacionados con física cuántica y relativista cabe señalar un trabajo de M.Lopez Arroyo<sup>111</sup> en 1955, donde hace un repaso de las bases teóricas de la espectroscopia, con el que evidentemente se relaciona la física atómica para la correcta interpretación de los espectros atómicos y, en concreto, las correcciones relativistas para la estructura fina de Sommerfeld y la modificación relativista de la ecuación de Schrödinger. Según nos informa López Arroyo, la velocidad del electrón en su órbita se estima que es del orden de  $10^8$  cm/s por lo que hay que considerar el término  $v^2/c^2$  en la estimación de la masa mediante la

expresión 
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Esta variación de la masa medida va a implicar un desdoblamiento en los niveles energéticos. Vamos a ver cómo sucede esto: la velocidad con que el electrón recorre su órbita es mayor cuanto mayor es la excentricidad de dicha órbita. Las diferentes excentricidades hacen que varíe el número cuántico acimutal. La masa aparente del electrón será distinta según la excentricidad y por lo tanto también la energía. Es decir, en mecánica cuántica clásica, a cada valor del número cuántico total  $n$  corresponde un único nivel energético, pero en mecánica cuántica relativista corresponden tantos niveles como órbitas distintas, aunque la diferencia hace que la separación entre las líneas de la estructura fina sea del orden de centésimas de Angström. Al saltar un electrón entre dos niveles dará lugar a una línea espectral. En mecánica cuántica clásica estas líneas dependían sólo de  $n$ , siendo indiferente la forma de las órbitas de partida y llegada, es decir todas las radiaciones producidas por saltos entre órbitas de  $n$  producían una sola línea. Pero en mecánica cuántica relativista cada línea espectral se descompone teóricamente en tantas como combinaciones se pueden formar entre el número de valores distintos que el número cuántico  $l$  puede tomar en las órbitas de partida y llegada. En realidad, no se producen tantas combinaciones como los diferentes valores de  $l$  porque, por el principio de exclusión de Pauli, hay un límite al número de líneas posibles, pero sí se producen una serie de líneas, conocidas como estructura fina. Para la constante de estructura fina se obtiene la trayectoria descrita por el electrón en el caso relativista, la energía en cada órbita estable y la constante de

estructura fina que es  $\frac{2\pi e^2}{hc}$ , cuyo valor aproximado es 1/237. En definitiva, “a un salto electrónico entre dos valores del cuanto total  $n$  no corresponde una radiación única, una sola línea espectral, sino varias líneas muy próximas”. En la ecuación de Schrödinger,

$$\nabla^2 \Psi + \frac{8\pi m}{h^2} (E - V) \Psi = 0$$
, también hay que sustituir  $m$  por  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$  y por lo

tanto considerar los efectos relativistas.

Sabemos que en España hubo un cierto nivel de trabajo experimental a partir de los años 60 en temas de física nuclear y de partículas. En los *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.* aparecieron reflejados bastantes escritos de este tipo, algunos de los

---

<sup>111</sup> M.Lopez Arroyo, “Espectroscopia astronómica”, 1955, *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1956*, 1955, p 311-497.

cuales consideraban en sus procedimientos cálculos en los que se incluían las correcciones relativistas correspondientes. Ejemplos hay varios: la determinación de la curvatura de las partículas relativistas en una emulsión fotográfica, al someterlas a un campo magnético intenso y pulsante;<sup>112</sup> el estudio experimental de la descomposición del campo electromagnético creado por una partícula relativista en un espectro de fotones;<sup>113</sup> el análisis de trazas en emulsiones ionográficas en los que se consideran iones relativistas;<sup>114</sup> la interpretación teórica de un trabajo experimental de otros investigadores extranjeros sobre reacciones nucleares, en el que del análisis de los resultados experimentales se deduce que hay que considerar los términos relativistas para energías próximas a la resonancia (por ejemplo para casos de energía del orden de 250 MeV la contribución de los términos relativistas es del orden del 8%)<sup>115</sup>.

Dos de los principales físicos teóricos españoles en el campo de la física cuántica, Francisco Ynduráin y Alberto Galindo, también hicieron contribuciones sobre teoría cuántica de campos relacionadas con relatividad. Además, los dos participaron activamente en la ya citada primera reunión de física teórica en 1965.

Francisco Ynduráin trabajó en los años sesenta en cuestiones de electrodinámica cuántica, en concreto calculando el potencial y la ecuación de Schrödinger en la generalización relativista del modelo de Lee<sup>116</sup> (un modelo teórico sobre interacción de partículas en el campo de la teoría cuántica de campos no relativista).

En su tesis doctoral,<sup>117</sup> dirigida por Galindo, Ynduráin profundizó sobre teoría cuántica de campos, en concreto sobre el programa de renormalización de la Electrodinámica Cuántica. El objeto de la tesis es analizar el problema de la definición del hamiltoniano para un tipo amplio de perturbaciones en interacciones de partículas elementales. Luego se estudia si la renormalización es válida para este caso. Se trata de que el hamiltoniano en estos casos se defina de una manera matemáticamente rigurosa y que además tenga una interpretación física que no sea ambigua.

La renormalización consiste en una “reformulación” de la teoría de campos para interacciones fuertes entre partículas, en términos de estados para partículas individuales, es decir lograr una teoría consistente para los estados de una partícula y que se pueda aplicar a los casos de interacción de varias partículas. El problema de la

<sup>112</sup> Catalá, J, E Villar, P. Zielinsky, A. Lleó, G. Pardo, R. Llosá y J.L. Gómez, “Factores que influyen en la determinación del error del campo magnético aplicado a un haz de protones relativistas a partir de su curvatura en emulsiones”, *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, v 60(A), 1964, p 13-18. Este trabajo se hizo en el Centro de Física Fotocorpuscular de la Facultad de Ciencias de Valencia, centro dependiente del CERN.

<sup>113</sup> Paty, R. Aguilar y F. Senent, “Interacciones fotonucleares de muones de alta energía”, *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 62(A), 1966, p 93-97.

<sup>114</sup> Fernández, F, J. Casasa Vázquez, V. Perez Villar, V. Gandía, R. Kaiser, R. Aiguabella y R. Schmitt, “Nuevos métodos de discriminación de trazas de iones cósmicos en emulsiones ionográficas”, *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 64(A), 1968, p 235-241. Los tres últimos autores son del departamento de física corpuscular del centro de investigaciones nucleares de Estrasburgo y los primeros son del laboratorio de Física corpuscular de la Facultad de Ciencias de Sevilla.

<sup>115</sup> Sánchez Gómez, J.L. “Relativistic terms in the reaction  $3\text{He}(\pi, \pi^+)3\text{H}$ ”, *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 65(A), 1969, p 175-180.

<sup>116</sup> Ynduráin, F.J. “The Schrödinger equation in the  $N-\pi$  sector of the relativistic Lee model”, *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 62(A), 1966, p 317-318; “S-Matrix formalism in the Lee Model”, *J.Math.Phys.*, 1965.

<sup>117</sup> Ynduráin, Francisco J. “Definición de hamiltonianos y renormalización en algunos modelos de Teoría Cuántica de Campos”, *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*, tomo XX, 1965, p 129-151.

renormalización es que deja sin cerrar la posibilidad de definir matemáticamente y con sentido físico operadores como el hamiltoniano, operadores de ondas o la matriz  $S$ .

El objeto de Ynduráin es ver si la aplicación de la renormalización para el hamiltoniano permite describir las interacciones entre las partículas. Ynduráin obtiene el hamiltoniano en teorías de campos para los operadores bosónicos y fermiónicos, lo que aplica al cálculo de espectros de energías.

Ynduráin extendió este trabajo para aplicarlo al formalismo de las matrices  $S$ , usadas en teoría cuántica de campos, con el objeto de presentar un modelo de teoría de campos basado en la generalización relativista del modelo de Lee.<sup>118</sup>

Entre los múltiples trabajos de Alberto Galindo, una de las figuras más representativas de la ciencia española y uno de los promotores del GIFT y del primer *Encuentro de Física Teórica* celebrado en España en 1965, destaca, en relación con la relatividad, el aparecido en los *Anales de Física*, "On the electromagnetic form factor normalization"<sup>119</sup>, cuyo propósito es identificar el significado de los factores de forma electromagnéticos en el caso no perturbativo.<sup>120</sup> Galindo plantea el problema del operador corriente electromagnética para dos estados de un fermión<sup>121</sup> de masa no nula, con momentos  $p_1$  y  $p_2$  y espinores internos  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ , para los que, aplicando la invariancia Lorentz y la conservación de la corriente, obtiene las ecuaciones con cálculos perturbativos, en las que bajo una normalización adecuada aparecen dos funciones que representan la carga del fermión y el momento magnético anómalo del mismo. Este caso ya fue analizado por Schweber en *An Introduction to Relativistic Quantum Field Theory*, 1961. Galindo se propone ahora aplicar la solución para casos no perturbativos, demostrando que las mismas funciones representan para el fermión su carga y momento magnético anómalo.

Otras aportaciones de Galindo relacionadas con mecánica cuántica relativista son: un escrito en *il Nuovo Cimento* sobre operadores de posición para sistemas relativistas<sup>122</sup>; otro en colaboración con Pedro Pascual sobre la ecuación de ondas relativista, en la que incorporan la interacción electromagnética según trabajos previos de Feynman y Gell-Mann<sup>123</sup>; un trabajo en el que estudia el problema de la

<sup>118</sup> Ynduráin, Francisco J., "S-Matrix formalism, charge renormalization, and definition of the hamiltonian in a simple Field-Theoretical Model", *Journal of Mathematical Physics*, v.7, nº 6, 1966, p 1133-1136.

<sup>119</sup> Galindo, "On the electromagnetic form factor normalization", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 62(A), 1966, p 109-113.

<sup>120</sup> Una perturbación en Mecánica Cuántica es cuando se considera el problema de dos partículas o más y el hamiltoniano total no es exactamente igual a la suma de los hamiltonianos uniparticulares, ya que hay una interacción residual, que la que se trata como una perturbación. En algunos problemas se puede despreciar esta interacción residual, tratándose como sistema no perturbativo.

<sup>121</sup> Los fermiones son partículas que se obedecen la estadística de Fermi-Dirac (basada en que dos fermiones no pueden ocupar el mismo estado mecanocuántico), de espín semientero ( $1/2, 3/2, \dots$ ), por lo tanto son fermiones los electrones y los nucleones, siendo fuentes de campos correspondientes a las interacciones fuertes, débiles o electromagnéticas.

<sup>122</sup> A. Galindo, "On the uniqueness of the position operator for relativistic elementary systems", *il Nuovo Cimento*, v 37, n 2, mayo 1965, p 413-422 (firma como miembro del CERN en Ginebra y de la Facultad Ciencias Zaragoza).

<sup>123</sup> Galindo y P. Pascual, "Some remarks on the relativistic wave equations", *il Nuovo Cimento*, n 31, nº 1, enero 1964, p. 132-139 (firman como miembros de la *Junta de Energía Nuclear* de Madrid).

propagación instantánea en los sistemas cuánticos, considerando tanto los casos no relativistas como los relativistas.<sup>124</sup>,

Igualmente, sobre mecánica cuántica relativista, trabajó Carlos Sánchez del Río, en concreto sobre las correcciones relativistas a la ecuación de Schrödinger,<sup>125</sup> planteando la necesidad de considerar una corrección relativista de primer orden al hamiltoniano clásico, con lo que se podría solventar el uso de la ecuación de Dirac. Gracias a este método, en el que se introducen formalmente los operadores de espín en dicha corrección relativista, se pueden deducir las propiedades de la interacción espín-orbita y otros efectos relativistas de primer orden.

El planteamiento de Sánchez del Río es partir de la expresión relativista para la energía cinética  $T$  en función del momento  $p$  que es  $T=(c^2p^2 + m^2c^4)^{1/2} - mc^2$ , y que se puede expandir en potencias de  $p$ , eligiendo sólo la corrección relativista de primer orden cuando  $p \ll mc$ , quedando de la forma

$$T = \frac{p^2}{2m} - \frac{p^4}{8m^3c^2}. \text{ De esta manera el hamiltoniano clásico para el movimiento de una}$$

partícula en un campo de energía potencia  $V(r)$  puede ser modificado para incluir la corrección relativista de primer orden. Introduciendo el operador de la ecuación de Schrödinger  $p=(-i\hbar/2\pi)\nabla$  y aplicando el formalismo de las matrices de Pauli  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ , mediante la identidad  $p^2=(\sigma p)(\sigma p)$ , después de una serie de desarrollos obtiene el hamiltoniano

$$H = \frac{p^2}{2m} + V - \frac{(E-V)p^2}{4m^2c^2} - \frac{\hbar^2}{4m^2c^2} \frac{dV}{dr} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2m^2c^2} \frac{dV}{dr} SL.$$

La interpretación de este hamiltoniano es la siguiente: el primer término es la energía cinética; el segundo la energía potencial; el tercero la corrección de primer orden debida al efecto relativista sobre la medida de la masa con la velocidad; el cuarto, aunque no tiene una analogía clásica, es debido al desplazamiento del espectro del hidrógeno y el quinto el acoplamiento espín-orbita responsable de la estructura fina de los niveles atómicos, donde  $L$  es el momento angular orbital ( $L=r \times p$ ) y  $S$  el operador de espín  $S = \frac{1}{2} \cdot \hbar \sigma$  (expresando la constante de Planck de la forma  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ).

Esta ecuación, haciendo un cambio apropiado de variables, es equivalente a la ecuación del Hamiltoniano relativista derivada de la ecuación de Dirac

$$H = \frac{p^2}{2m} + V - \frac{p^4}{8m^3c^2} + \frac{\hbar}{8m^2c^2} \nabla^2 V + \frac{\hbar}{4m^2c^2} \sigma(\nabla V \wedge p)$$

<sup>124</sup> Galindo, "propagación instantánea en los sistemas cuánticos", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím., serie A Física*, v 64(A), 1968, p 141-147.

<sup>125</sup> C. Sánchez del Río, "On the relativistic corrections to the Schrödinger equation", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím., serie A Física*, v 64(A), 1968, p 321-324.

Para este trabajo, Sánchez del Río se basó en uno suyo anterior, realizado conjuntamente con Galindo, sobre los momentos magnéticos intrínsecos en la aproximación no relativista<sup>126</sup>.

Sobre física de partículas en donde se consideraban las correcciones relativistas hubo igualmente bastantes trabajos protagonizados por físicos españoles. Sirvan de ejemplo los publicados por Pedro Pascual, en colaboración con su hermano Rafael y con Tarrach.<sup>127</sup>

Por último, cabe destacar contribuciones de otros físicos como Oliver y Santos. El primero sobre la ecuación de ondas relativista para describir una partícula con espín 0 ó 1, en el caso en que la partícula interactúe con el campo electromagnético, y donde hay que aplicar la covarianza Lorentz.<sup>128</sup>

En cuanto a Santos, que pertenecía al Departamento de Física Teórica de la Universidad de Valladolid, realizó una hipótesis, que el autor reconoce con dificultades, sobre la posibilidad de interpretar los fenómenos cuánticos como debidos a radiación electromagnética, ya que según él, la idea moderna de que es inadecuada la electrodinámica clásica en el ámbito cuántico no es correcta, ya que se basa en la idea de que cada átomo puede estudiarse como un sistema aislado, lo que él rechaza. Intenta demostrar que la ecuación de movimiento de un sistema de partículas cargadas, sometidas a fuerzas y a una radiación de fondo aleatoria, resulta formalmente idéntica a la ecuación de Schrödinger.<sup>129</sup>

#### 4.3.5. EL TRATAMIENTO DE LAS TEORÍAS UNITARIAS DE CAMPO

Varios autores españoles trataron los intentos de unificación, tanto a modo de síntesis de las teorías establecidas, como en algunos casos con intentos originales, como el de Maravall. Conviene recordar que en 1954 apareció la nueva edición de la famosa obra de Einstein, *The meaning of Relativity*, en la que introdujo novedades respecto a las teorías unitarias. Sobre las últimas aportaciones de Einstein en este campo, Santaló y Tharrats publicaron algunos artículos. Tanto los trabajos de Maravall como los de Santaló se tratan más adelante en apartados específicos, y los de Tharrats en este mismo más adelante.

Una vez más, el libro de Terradas y Ortiz de 1950, es un ejemplo perfecto del seguimiento en España de esta materia. Al tratar las teorías de unificación, justifican su origen de la siguiente manera, que por su claridad transcribo:

<sup>126</sup> Galindo y Sánchez del Río, "Intrinsic magnetic moment as a nonrelativistic measurement", *American Journal Physics*, v 29, 1961, p 582.

<sup>127</sup> R. Pascual y P. Pascual, "Muon capture by helium-3", *il Nuovo Cimento B*, v 44, nº 2, agosto 1966, p 434-451; P. Pascual, R. Tarrach y F. Vidal, "Muon capture in deuterium", *il Nuovo Cimento A*, v 12, n 1, noviembre 1972, p 241-248; Tarrach y P. Pascual, "Relativistic study of the reaction  $\nu \mu + d \rightarrow p + p + \mu^-$ ", *il Nuovo Cimento A*, v 18, n 4 diciembre 1973, p 760-770.

<sup>128</sup> Oliver, L. "Hamiltonian for a Kemmer particle in a electromagnetic field", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 64(A), 1968, p 407-410.

<sup>129</sup> Santos, E. "Is there an electromagnetic background radiation underlying the quantum phenomena?", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 64(A), 1968, p 317-320.

Tanto la teoría electromagnética de Maxwell-Lorentz como la de la gravitación de Einstein son teorías de campos regidos por sistemas de ecuaciones entre derivadas parciales hasta un cierto orden. Dadas las condiciones iniciales y de contorno, el estado del campo queda determinado por las ecuaciones del campo, electromagnético o gravitatorio, en cada punto y en cada instante, esto es, en cada punto de universo. Pero al igual que la teoría de Maxwell ignora el campo gravitatorio, nada se dice en la teoría de Einstein acerca del campo electromagnético. Los dos campos coexisten en la naturaleza, pero totalmente ajenos el uno al otro. Este estado de cosas es muy poco satisfactorio por más de una razón. El nexo íntimo entre materia y electricidad, por ejemplo, sugiere la existencia de vínculos entre el campo gravitatorio, que en la teoría clásica se atribuye a la primera, y el electromagnético, cuya causa se reconoce en la segunda. Por éste y otros motivos, en los últimos años de la segunda década del siglo actual se abordó el problema de encuadrar en un esquema único la teoría de Maxwell-Lorentz y la de Einstein. Así surgieron diferentes teorías a las que se dio el nombre de *teorías unificadas*, si bien hoy se reserva éste para aquéllas que persiguen el fin aún más ambicioso de unir en una sola teoría la relatividad general en sentido estricto, los fenómenos electromagnéticos y los fenómenos cuánticos. Es difícil saber si el problema tiene solución, aunque la poca fortuna que ha acompañado a los ensayos hasta el presente llevados a cabo más bien parece indicar que se trata de un seudoproblema, por lo menos tal como se ha venido planteando. Es, en efecto, difícilmente concebible que quepa reunir en un todo lógicamente armónico teorías tan fundamentalmente dispares, que sea posible conciliar la hipótesis relativista de la posibilidad de mediciones exactas – o por lo menos de exactitud ilimitada, y esto en cualesquiera condiciones – y el principio de indeterminación que se encuentra en la base de la mecánica cuántica. Sea como fuere, pero, las tentativas prosiguen y nada definitivo cabe decir, ni tan sólo en el sentido que en física hay que atribuir a la palabra “definitivo”.<sup>130</sup>

Al desarrollar Terradas y Ortiz las ecuaciones del electromagnetismo en notación tensorial, donde el campo electromagnético depende de un vector corriente y un vector del espacio-tiempo  $A^i$  (en el que las tres primeras componentes se interpretan como el potencial vector  $A$  y la cuarta como el potencial escalar  $V$ ) llegan a la siguiente expresión

$A = \int \left( \frac{1}{2} F^{ik} F_{ik} - 2A_i s^i \right) \sqrt{g} \, d\tau$ , integral que es estacionaria respecto a las variaciones  $\delta A$ .

Es evidente la relación formal con la condición de “estacionariedad” impuesta por el principio de Hamilton de la mecánica analítica clásica, ya que en ambos casos se impone a una cierta integral que sea estacionaria. Igualmente se comportan las ecuaciones de Einstein

---

<sup>130</sup> Terradas y Ortiz, *Relatividad*, 1952, p. 143.

$A = \int (R - 2\lambda - \chi T) \sqrt{g} \, d\tau$ ; en las que también se impone la condición  $\delta A = 0$ .

Como nos informan Terradas y Ortiz, parece lógico, por lo tanto, englobar en un solo principio de estacionariedad las ecuaciones einstenianas del campo gravitatorio y las ecuaciones del electromagnetismo de la forma

$$A = \int (R - 2\lambda - \chi T - \chi L) \sqrt{g} \, d\tau \quad \text{con con } L = \frac{1}{2} F^{ik} F_{ik} - 2A_i s^i \quad \text{y } \chi = 8\pi G/c^4.$$

La primera parte es la relacionada con el campo gravitatorio, correspondiente a las ecuaciones de campo einstenianas y la segunda parte relacionada con el campo electromagnético.

Las ecuaciones que se obtienen son formalmente las mismas que las de Einstein, es decir

$R^{ik} - \frac{1}{2} g^{ik} R + \lambda g^{ik} = - (8\pi G/c^4) T^{ik}$  sólo que ahora el tensor  $T^{ik}$  contiene una parte relativa al tensor másico  $M^{ik}$  (que sería el antiguo  $T^{ik}$  conocido como tensor de energía-impulso) y otra al tensor electromagnético  $E^{ik}$ .

Hay que indicar que este intento de unificación es a nivel macroscópico, ya que la unificación con la teoría cuántica todavía aparece como un intento infructuoso (estamos en 1952).

Así como el tensor  $M^{ik}$  se anula en las regiones no ocupadas por materia, el tensor  $E^{ik}$  será nulo en la región en que no actúa campo electromagnético alguno. Pero si en una cierta región se manifiesta dicho campo electromagnético,  $E^{ik}$  será diferente de cero tanto si en dicha región hay cargas eléctricas como si no las hay. Este diferente comportamiento de los tensores másico y electromagnético implica importantes consecuencias para la estructura del espacio-tiempo asociada a una carga puntual e de masa  $m$ . Las ecuaciones del campo gravitatorio en el vacío y en unión de un campo electromagnético ya no son ahora  $R^{ik} - \lambda g^{ik} = 0$  sino  $R^{ik} - \lambda g^{ik} = -\chi E^{ik}$ .

Obteniendo, para el caso concreto de ausencia de carga, la solución del elemento de línea, que equivale a la métrica de Schwarzschild (donde se presentaban unas singularidades que hacían que sólo tuvieran sentido las ecuaciones para el estudio en el exterior del cuerpo) resulta que la singularidad ahora adopta otras condiciones que implican poder contemplar un corpúsculo como un punto y a pesar de ello dotado de masa diferente de cero, lo que no se podía dar en la solución de Schwarzschild.

Según Terradas y Ortiz, otra consecuencia del intento de unificación anterior es que las ecuaciones de las líneas del universo de un fluido material incoherente y uniformemente cargado no son ya geodésicas del espacio-tiempo, ya que intervienen ciertos términos correspondientes a las fuerzas ponderomotrices asociadas al electromagnetismo. Otro problema es que, a diferencia de lo que ocurre con la teoría gravitatoria de Einstein, no se encuentra un posible significado geométrico a las componentes del potencial electromagnético.

De aquí surgieron los intentos de Weyl y Eddington respecto a “geometrizarse” el campo electromagnético. En definitiva, se basaban en atribuir al campo electromagnético una significación geométrica similar a la que Einstein dio al campo

gravitatorio. Pero para ello había que salirse del esquema riemanniano (aunque los autores españoles no lo indican aquí, uno de los motivos era el carácter antisimétrico del tensor electromagnético). Recordemos que ya Plans trató en profundidad este tema en los años 1920.

Weyl generalizó la noción de espacio de Riemman, modificando la conexión métrica del mismo de la siguiente forma: en un espacio de Riemman el transporte de longitudes (es decir intervalos del espacio-tiempo) de un punto a otro es independiente del camino seguido, pero en el propuesto por Weyl se obtienen, en general, longitudes distintas en correspondencia con los diferentes caminos que se pueden seguir. Esta condición implica que la conexión métrica no es integrable. Así, en el espacio de Weyl el transporte de longitudes depende de un vector covariante cuyo rotacional no es nulo, pues si lo fuera se reduciría a un espacio de Riemman. Este vector es precisamente el potencial electromagnético, con lo que en principio Weyl habría logrado geometrizar el electromagnetismo, al asociar el vector potencial con la métrica.

No tratan, en cambio, Terradas y Ortiz la teoría de Eddington, lo que justifican afirmando que “Más general aún es la teoría de Eddington y el espacio en que encuadra los fenómenos físicos, pero ya sólo el esbozarla nos llevaría muy lejos”. Citan también otros intentos, como el de Kaluza sobre espacios de cinco dimensiones o el de Veblen sobre espacios proyectivos, aunque se muestran escépticos sobre sus resultados, concluyendo que el asunto queda todavía abierto con las siguientes palabras:

Otros teóricos de la física han empleado con mayor o menor éxito espacios de cinco dimensiones- por ejemplo, la teoría de Kaluza es particularmente sencilla. Pero es un poco difícil encontrar una interpretación física a esa quinta dimensión y, por tal motivo, debe considerarse como más satisfactorias las teorías unificadas que adoptan como marco geométrico los espacios de conexión proyectiva de cuatro dimensiones y en ellos coordenadas homogéneas, lo que da lugar a la aparición de los cinco parámetros que ciertos hechos parecían hacer necesarios. Después del trabajo fundamental de Veblen, mucho se ha logrado siguiendo el esquema proyectivo, a pesar de lo cual la teoría de Kaluza cuenta aún con partidarios, lo que prueba que ninguna de las teorías hoy conocidas es del todo satisfactoria. Es un hecho que los modelos geométricos se suceden unos a otros con rapidez vertiginosa, impulsados por los conocimientos que se van adquiriendo acerca de los fenómenos físicos, en particular los del microcosmos. Pero los mismos pocos años que los dejan anticuados parecen indicar que la ruta que abrió Einstein con su teoría de la relatividad general, en la que se geometriza el campo gravitatorio, no conduce al mundo de lo atómico y nuclear, a aquel en que se manifiesta la estructura íntima de la materia. Si es o no efectivamente así, solo el futuro podrá mostrarlo.<sup>131</sup>

Un físico español que se aproximó a las teorías unitarias fue Jesús M<sup>a</sup> Tharrats Vidal, quien pertenecía al seminario de física matemática de la Universidad de

---

<sup>131</sup> Terradas y Ortiz, *Ibidem*, p 152 y 153.



Barcelona. En 1953 y 1954 publicó dos trabajos sobre este tema.<sup>132</sup> En el primero, básicamente un trabajo matemático, interpreta la idea de Einstein, según cita al pie, expuesta en *The meaning of Relativity*, para generalizar el tensor simétrico  $g^{ik}$ . Según Tharrats, hay que escoger unos potenciales no simétricos que se reducen al campo gravitatorio en el caso de simetría. De esta forma, el tensor se puede descomponer en una parte simétrica y otra antisimétrica. Aunque el propio Einstein no estaba convencido de esta idea, porque implicaba reducir el tensor a dos entes de naturaleza distinta, Tharrats opina que esta objeción no está justificada, ya que el tensor está asociado a una conexión que es una generalización de la conexión métrica. Así, los potenciales  $g_{ik}$  representan una polaridad en cada espacio afin local. Esto implica que cada observador formaría su espacio local y mediría las distancias como en el antiguo campo gravitatorio, produciendo un acortamiento en las medidas en el sentido radial del campo.

En el segundo artículo, Tharrats plantea que muchos autores, como Weyl, Kaluza y Klein, se han preocupado más de modificar la conexión métrica y afin que en escoger una nueva métrica local, reflejando la crítica de Einstein y Mayer de 1931 al campo pentadimensional de Kaluza. Tharrats defiende la importancia de volver al espacio métrico local, que Einstein reintrodujo mediante un tensor no simétrico. El propósito del autor es generalizar lo más posible el grupo métrico, obteniendo un grupo más general que denomina polimétrico, mediante el que se puede volver a la primitiva concepción del campo unitario.

Como ejemplo del prestigio de estos escritos de Tharrats, en las obras de Synge, *Relativity, The General Theory* (Amsterdam, 1960) y Tonnelat, *Les vérifications expérimentales de la Relativité Générale* (Paris, 1964) se dan referencias de los mismos.

---

<sup>132</sup> Tharrats, "Significado del nuevo campo de Einstein", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 39-A, nº 11 y 12, Noviembre-Diciembre 1953, p 303-310; "Fundamentos de un nuevo campo unitario de la gravitación y la electricidad" *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, v 40-A, 1954, p 41-44.

#### 4.4. LA PROPUESTA ALTERNATIVA DE JULIO PALACIOS

En un estudio lo más completo posible del tratamiento de la relatividad en España se hace necesario analizar con detenimiento el intento de Julio Palacios (1891-1970), en los años 50 y 60 del siglo XX, de construir una teoría alternativa a la relatividad que procura salvar la concepción newtoniana del tiempo absoluto.

La pregunta pertinente al respecto es si realmente es importante la figura de Palacios, y por qué, en el ámbito de la relación entre la ciencia española y la Teoría de la Relatividad. La respuesta es que sí lo es y los motivos son: la importancia de Palacios como físico español y su crítica, profunda y rigurosa, a la relatividad einsteniana que culmina con una teoría alternativa a aquélla.

En efecto, Palacios era el físico español más significativo en la España franquista de postguerra, habiendo adquirido prestigio internacional por sus contribuciones a la física teórica y experimental en los años 30, aunque no sobre relatividad, y por su obra *Análisis Dimensional*, que marcó un hito en la producción científica española al publicarse en inglés y francés. Además era una figura destacada por su representación institucional. Fue presidente de la *Soc. Esp. Física y Quim.* en los años 20, presidente de la *R. Acad. Ciencias de Madrid* y Director del *Instituto de Ciencias Físicas* de la Universidad de Madrid en los años 60, así como rector del *Centro Internacional de Ciencias Mecánicas* de Udine, dependiente de la Universidad de Trieste.

Su crítica a la relatividad no se redujo a mostrar sus posibles inconsistencias lógicas, sino que evolucionó hasta proponer una teoría alternativa, tanto en el ámbito de postulados como en consecuencias, incluyendo amplios desarrollos matemáticos que intentaban explicar fenómenos en principio sólo interpretados correctamente desde la teoría de Einstein. Se puede afirmar que, aun no comprendiéndola, como él mismo afirmaba, conocía y dominaba la relatividad y la extensa bibliografía sobre el tema, tanto en libros específicos como en revistas especializadas de física.

Su trabajo al respecto se prolongó por muchos años y en multitud de conferencias y escritos, tanto en revistas especializadas como de divulgación, llegando incluso a escribir varios artículos en *ABC*, por lo que varios autores han calificado el intento de Palacios de “cruzada antirrelativista”, por mostrar en ocasiones cierta acritud y por su extensión en el tiempo y en escritos. Algunos de éstos lo fueron con carácter sistemático, como su libro de 1960, *Relatividad. Una Nueva Teoría*.

La referencia de muchos de los escritos de Palacios contrarios a la relatividad aparecen en la reciente obra de Mueller y Kneckebrodt, *95 years of criticism of the*

*Special Theory of Relativity (1908-2003); The G.O. Mueller Research Project (GOM-Project Relativity)*, Germany, May 2006.<sup>1</sup>

Un aspecto que, aunque pueda parecerlo, no es intrascendente, es la denominación de la teoría de Palacios. ¿Es una alternativa a la relatividad einsteniana o es antirrelativista?. Durante muchos años la llamó “Nueva Teoría”, presentándola como alternativa a la de Einstein, pero en 1968 tituló uno de sus escritos “La nueva dinámica antirrelativista”. En mi opinión es más correcta la primera porque realmente trata sobre la relación de fenómenos físicos entre diferentes sistemas de referencia, con muchas conclusiones coincidentes con la de Einstein, pero manteniendo conceptos básicos de la mecánica clásica newtoniana y, a su vez, modificando dicha teoría clásica. Además, no se limitó a criticar la de Einstein, sino que construyó una nueva teoría que, en principio, explicaba los mismos hechos que la original. En cualquier caso es un asunto discutible y cualquiera de las dos opciones podría ser válida. Creo que la denominación de Palacios de “dinámica antirrelativista” obedece a una progresiva radicalización personal al final de su vida, no en vano el único texto publicado como libro independiente se denominaba *Relatividad. Una nueva teoría*.

A continuación se muestran los diferentes epígrafes en los que se desarrolla este apartado, haciendo previamente una breve relación de los datos biográficos más relevantes de Julio Palacios, con la intención de mostrar su importancia en la Física española.

*Resumen de la propuesta alternativa de Palacios.* Es un resumen general de la teoría de Palacios, con las dificultades que implica, ya que no es fácil hacerse una idea de su pensamiento, por la evolución del mismo y por incurrir a veces en contradicciones que dificultan la síntesis de su teoría. Este apartado pretende ser introductorio para facilitar una visión de conjunto, antes de analizar en profundidad sus publicaciones y los temas clave de su teoría, que se tratan en siguientes apartados.

*Publicaciones sobre relatividad.* Repaso de las publicaciones de Palacios sobre relatividad, tanto las directa como las indirectamente relacionadas. Se presentan las primeras referencias, donde todavía no aparece una crítica sistemática a la relatividad, aunque se vislumbran indicios de su evolución posterior. En estos primeros textos se incluyen las propuestas de su teoría sobre el Análisis Dimensional que pudieran estar relacionadas con la relatividad. En este apartado no se realiza un exhaustivo análisis de cada escrito, sino un estudio general por importancia y tipo de publicación. Se destacan las principales contribuciones en cuanto a presentación de novedades en la

---

<sup>1</sup> Es un proyecto de investigación alemán, en el que se catalogan más de 3700 publicaciones críticas con la relatividad, en todos los idiomas y países en que se han encontrado referencias. Se puede consultar en [www.ekkehard-friebe.de](http://www.ekkehard-friebe.de), con informes desde Noviembre 2003 hasta Mayo 2006, con una primera versión impresa de Octubre 2001. Los autores citados en lengua española aparecen en el Capítulo 8 “Autoren nach Sprachen”, apartado 8.2 “In spanischer Sprache sind Veröffentlichungen von folgenden Autoren erschienen” y son los siguientes: Alsina, Javier; Armada, Pedro D; Aubry de Puymorin, R; Bain, James; Bentabol y Ureta, Horacio; Casares Roldán, José; Cervi, Juan Carlos; Galvan, Alfonso; García, Godofredo; García Bacca, Juan David, García de la Concha, Osvaldo; Heisenberg, Werner; Juan Díaz, Javier de; Laub, Jakob; Lugo, Carlos; Medio, Pedro Nolasco de; Morales, Juan Alberto; Munárriz, Jesús; Niro, Pio; Palacios, Julio; Renoirte, F.; Rodríguez, Teodoro; Rodríguez de Prada, Angelo; Severi, Francesco; Urbano, Luis; Vial, François; Würschmidt, José.

evolución del pensamiento de Palacios sobre la relatividad, que permitirá posteriormente sistematizar los principales temas clave.

*Las claves temáticas.* Se muestran los temas clave del pensamiento de Palacios en su nueva teoría de la relatividad. Realmente éste es el cuerpo principal de este apartado. He sistematizado dichas claves por los contenidos siguientes:

- Las nuevas ecuaciones de transformación entre sistemas de referencia inerciales y sus consecuencias: contracción de los cuerpos y mantenimiento de la concepción newtoniana del tiempo
- La paradoja de los relojes.
- El espacio y la geometría.
- Constantes de la Naturaleza. Variación de la constante de Planck. La velocidad de la luz
- Masa inercial y masa gravitatoria
- Teoría de la Gravitación.
- La dinámica relativista desde la teoría de Palacios.
- Intento de recuperación de las acciones a distancia y el éter.
- El uso del experimento de Kantor en 1962, inicialmente interpretable como contrario a la relatividad.
- La influencia del Análisis Dimensional y el estudio de las unidades electromagnéticas en relación con la relatividad.

*La “cruzada” de Palacios.* Se analizan los motivos de Palacios para su rechazo a la relatividad, basados principalmente en su postura autodenominada “realismo ingenuo” y en el problema, también indicado por él mismo, de “entender” la teoría de Einstein. Se muestra la progresiva radicalización de Palacios, con inclusión de citas textuales que indican una cierta acritud y un sentimiento personal de “sentirse aislado”. Relacionado con este aspecto se constata la escasa proyección internacional de su teoría, en contraste con lo ocurrido respecto a su *Análisis Dimensional*. Por otra parte, destaca el intento de desprestigiar a Einstein por cuestiones de prioridad. Aunque el ámbito de estudio de esta tesis es el relativo a medios científicos especializados, en este caso se comenta brevemente su contribución en prensa diaria, por la relevancia de estos escritos para entender el pensamiento de Palacios y por su significación en los sentimientos de Palacios anteriormente citados. Por último, se tratan los debates en los que participó Palacios con científicos extranjeros. Este es uno de los temas más interesantes en el ámbito de la Historia de la Ciencia. Los debates habidos con colegas españoles se desarrollan en un apartado específico fuera del cuerpo de éste dedicado a Palacios, ya que reflejan posturas de otros científicos, por lo que he considerado más conveniente incorporarlo fuera de éste apartado, dedicado exclusivamente a Palacios.

Antes de entrar en materia sobre el posicionamiento de Palacios ante la relatividad conviene destacar su importancia en la Física española de la época. Al igual que con

Cabrera, Terradas y Plans, a continuación presento una breve síntesis de los datos biográficos significativos de Julio Palacios.<sup>2</sup>

Nuestro protagonista, nacido en 1891, es un buen ejemplo de la generación de científicos que formaron “La Edad de Plata” de la ciencia española en el primer tercio del siglo XX. Efectivamente, después de licenciarse a los 20 años en Física y Matemáticas por la Universidad de Barcelona, doctorarse en Madrid en 1914 bajo la dirección de Blas Cabrera, y obtener la cátedra de Termología en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid, obtuvo una beca de la *Junta de Ampliación de Estudios* en 1916 para investigar en la universidad holandesa de Leiden, en el laboratorio de bajas temperaturas. Al volver a Madrid, en 1918 formó parte del *Laboratorio de Investigaciones Físicas*, dirigiendo primero el grupo de Termología y posteriormente, en 1922, el de Rayos X. En definitiva tenemos a un joven Palacios que cumple con varias de las características del auge de la Ciencia Española: la internacionalización de ésta, el trabajo experimental en laboratorios propios y el conocimiento de primera mano sobre los últimos avances en Física. No en vano fue alumno de Terradas, trabajó en Leiden con el premio Nobel de Física Kamerlingh Onnes y asistió a cursos de física teórica impartidos por el mismo Lorentz. Junto a Blas Cabrera, Miguel Catalán y Arturo Duperier, Julio Palacios forma parte del grupo de físicos españoles más destacadas de la primera mitad del siglo XX.

Su labor más prolífica en cuanto a artículos originales de física experimental se produce en los años 20 y 30, con los que obtiene reconocido crédito internacional.<sup>3</sup> En 1919 realiza su primera contribución científica, en colaboración con Crommelin y Kamerlingh Onnes, sobre termodinámica de bajas temperaturas, concretamente isothermas de gases, publicada en varias revistas científicas holandesas. Kamerlingh Onnes era la máxima autoridad mundial en criogenia (bajas temperaturas) y Crommelin era un físico irlandés que participó en las expediciones organizadas por Eddington en 1919 para la comprobación de la curvatura de la luz.

En colaboración con Crommelin publica, en *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* en 1920, un artículo precursor de una futura especialidad en Física, la de superconductores. En 1922 y 1923 colabora con Kamerlingh en trabajos sobre compresibilidad de gases y efectos cuánticos asociados. Hasta 1936 publica en los *Anales* españoles 45 artículos, dos con Blas Cabrera y varios con otros colaboradores, lo que demuestra que en la Física española se estaba creando un grupo de científicos con futuro, no dependiendo ya de una figura individual, como Blas Cabrera. Estos artículos son el resultado de trabajos experimentales, primero en el *Laboratorio de Investigaciones Físicas* y posteriormente en el *Instituto Nacional de Física y Química* (que se reflejan también en los respectivos medios de difusión), sobre disciplinas variadas como estructuras cristalinas, paramagnetismo, espectroscopia, rayos X. De

---

<sup>2</sup> Se pueden consultar datos biográficos de Palacios en los siguientes textos: GONZÁLEZ DE POSADA, *Julio Palacios: físico español, aragonés ilustre*, Amigos de la Cultura Científica, ETS Arquitectura UPM, Madrid, 1993; J. AGUILAR PERIS, *D. Julio Palacios y el lenguaje de la física* (Universidad de Santander, 1983); LEONARDO VILLENA, *Julio Palacios: labor didáctica, confinamiento y proyección internacional*, Amigos de la cultura científica, 1985; ELENA CALLEYA, *Semblanza científico-biográfica de Julio Palacios*, Amigos de la cultura científica, Santander, 1985.

<sup>3</sup> La relación completa de trabajos científicos de Palacios aparece en GONZÁLEZ DE POSADA, *Julio Palacios: Físico español, aragonés ilustre*, Madrid 1993, p. 34 a 50.

este conjunto de escritos científicos, se publicaron en 1925 dos de ellos en *Annalen der Physik*. Sólo un artículo estaba relacionado con la relatividad, el publicado en 1934 junto con Langevin “Los principios fundamentales de la Mecánica relativista. El método de Langevin para deducir las fórmulas fundamentales”. Es un escrito que se puede situar perfectamente dentro de la ortodoxia del pensamiento relativista. Palacios era un físico experimental y sus inquietudes por la física teórica iban por otros derroteros, aun así, respecto a la Nueva Física era lógica la influencia del ambiente prorrelativista de Leiden y de sus maestros Terradas y Cabrera, introductores de la relatividad en España. Además, como miembro de la *Sociedad Matemática* participó en la recepción a Einstein en 1923 y en la preparación de las conferencias.

La Guerra Civil supone el colapso de la física experimental en España. Palacios, monárquico y católico convencido, se mantiene aislado en Madrid. En la postguerra, exiliado Cabrera, Palacios es la principal figura de la Física en España. Consciente de la precariedad científica de su país, participa activamente en la vuelta a España de Terradas y Rey Pastor. Aun así, su inequívoca vocación monárquica le plantea dificultades en el nuevo régimen, por lo que desde 1947 decide establecerse en Lisboa como profesor e investigador, destacando como director del *Laboratorio de Física Atómica* de Portugal.

Su proyección internacional es indudable: imparte múltiples conferencias en diversos países (Francia, Suiza, Argentina); es nombrado doctor *honoris causa* por la universidad de Toulouse; se traduce al inglés y francés su obra *Análisis Dimensional*; es uno de los principales promotores del *Centro Internacional de Ciencias Mecánicas*, del que se le nombra, en 1968, rector en Udine.

En España, aprovechando una cierta apertura del régimen en los años 50, se reconoce la importancia de su reputación: en 1953 ingresa en la *Real Academia de la Lengua* (previamente también ingresó en la *Real Academia de Medicina*, por sus contribuciones sobre el estudio de la miopía y la presbicia nocturnas, así como por sus manuales de Física para los estudiantes de medicina); en 1958 recibe el premio de Ciencias de la *Fundación Juan March* y es nombrado vicepresidente de la *R. Academia de Ciencias de Madrid*; en 1962 dirige el *Instituto de Ciencias Físicas* de la Universidad de Madrid; en 1964 es nombrado presidente del Comité Español de la *Unión Internacional de Física Pura y Aplicada* y en 1966 pasa a presidir la *Academia de Ciencias de Madrid*.

En definitiva, tanto en España como internacionalmente se constata la importancia institucional de Palacios, labrada por su prestigio como físico teórico y experimental en los años 20 y 30. Por otra parte no es superfluo señalar que Palacios era querido y admirado por muchos colegas de su época, reconociendo en él no sólo su valía científica, sino también su capacidad pedagógica y sus libros de texto y de divulgación.

## 4.4.1. SÍNTESIS DE LA PROPUESTA ALTERNATIVA DE PALACIOS.

Uno de los pocos científicos españoles que polemizaron con Palacios en medios especializados, Ramón Ortiz Fornaguera, en su primer artículo de réplica a la teoría de aquél, decía: “No es fácil determinar el curso de ideas que llevó a Palacios a su teoría de la relatividad. En todo caso, parecen girar en torno principalmente del concepto de tiempo”<sup>4</sup>. Suscribo totalmente esta opinión. Es más, no es fácil siquiera presentar la teoría de Palacios de forma esquemática, ya que ésta se desarrolló a lo largo de muchos años y en multitud de escritos. Además, en varias ocasiones incurrió en contradicciones, como se verá en siguientes apartados. Igualmente, en un aspecto tan fundamental como la formulación de postulados, también modificó la base axiomática de su teoría, aunque no de forma determinante. Es por ello que voy a resumir las ideas principales de la teoría de Palacios como si hubiese sido presentada de forma unitaria.

En definitiva, con esta síntesis se pretende facilitar una visión de conjunto, sin incluir interpretaciones ni análisis de consecuencias, antes de estudiar en profundidad sus publicaciones y los temas clave de su teoría, que se tratan en siguientes apartados.

Un buen resumen que sintetiza el pensamiento de Palacios es el propio prólogo a su libro de 1960 *Relatividad. Una nueva teoría* (Espasa-Calpe, 1960), donde ya se plasman algunas de las características de su trabajo en las que se profundizará, como se ha indicado, más adelante. Por su interés, a continuación se transcribe íntegramente.<sup>5</sup>

Desde que Einstein enunció su famoso principio de relatividad no ha transcurrido más que medio siglo, pero las consecuencias han sido tales, que esta media centuria contará en la vida de la Humanidad mucho más que decenas de siglos en que no hubo un descubrimiento comparable al que se encierra en la fórmula einsteniana. Baste decir que sin ella continuaría ignorada la energía encerrada en los núcleos atómicos.

Con ocasión de la muerte del autor de la teoría de la relatividad, escribí en *Physicalia* un artículo titulado *¿Se puede entender la teoría de la relatividad?* Lo que entonces me atreví a decir, para consuelo de quienes no podían asimilar fácilmente las abstrusas ideas de dicha teoría, podía no tener importancia, porque todo depende del significado que se dé a la palabra entender, y en Física hemos de estar preparados a encontrarnos con hechos que, por estar encima de lo que alcanza nuestra razón, merecen ser llamados misterios. Tales, por ejemplo, como la innegable acción a distancia y el doble comportamiento onda-corpúsculo. Del principio de relatividad resultan cosas que el propio Einstein calificó de

---

<sup>4</sup> Ortiz Fornaguera, “Sobre una nueva teoría de la relatividad”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1964, v 58, p 410.

<sup>5</sup> Se da la circunstancia que en el libro-homenaje a su figura, *Centenario de Julio Palacios. 1891-1991*, editado por la UCM en 1991, están transcritos todos los prólogos de sus libros, desde *Mecánica Física* de 1948 hasta *Análisis Dimensional* de 1955, excepto, curiosamente, éste dedicado a la relatividad. Esta anécdota puede resultar significativa respecto al posible desprestigio que pudo implicar su prolongado trabajo sobre relatividad en los últimos años de su vida, cuando en otras disciplinas de la física no se dudaba, entre sus colegas, de su valía como físico de primera fila. Por lo tanto, por estos motivos creo conveniente transcribir completamente dicho prólogo.

asombrosas y que trascienden a los conceptos metafísicos de tiempo y espacio en forma tal, que debemos renunciar a la idea intuitiva que de ellos tenemos y atenernos a lo que dice un impenetrable algoritmo matemático. De todo esto se infiere que, al estudiar los fenómenos naturales, estamos expuestos a encontrar enigmas por todas partes, y que lo mejor será empezar por exponerlos en toda su desnudez, pues vale más un misterio claro y rotundo que una confusa teoría con la que se pretende explicar lo que está fuera de nuestra capacidad de raciocinio. El gran acierto de Einstein consistió, justamente, en que cada vez que surgía un fenómeno inexplicable, tal como el efecto fotoeléctrico o la imposibilidad de poner de manifiesto el movimiento de la Tierra, se basaba en él para enunciar un nuevo postulado que, claro es, resulta incomprensible, pero tenía la ventaja de que, una vez admitido, permitía explicar los hechos conocidos y predecir otros nuevos.

Pero, a pesar de tanto éxito, parece ser que hay algo torcido en la teoría de la relatividad. Una cosa es que admitamos lo maravilloso aunque no lo entendamos, y otra muy distinta el que demos por bueno lo que es absurdo. Cuanto más haya de lo primero, tanto más admirable será la Creación, pero lo absurdo no puede ser admitido.

Todo esto viene a cuento de la encarnizada controversia que han entablado los mejores especialistas en cuestiones relativistas acerca de la llamada "paradoja de los relojes". Esta paradoja es cosa vieja, y ya nos devanó los sesos cuando empezó a hablarse de la relatividad especial. Luego, con la relatividad general, quedó envuelta en un fárrago matemático impenetrable, y se dio por supuesto que todo estaba en regla. Pero recientemente escribió Thomson uno de esos libros para el gran público en que son maestros los ingleses, y se le ocurrió hacer vaticinios acerca de lo que sucederá cuando se realicen viajes por los espacios sidéricos, y dice que en un viaje de ida y vuelta a la estrella más próxima se invertirán unos dieciocho años y que, "según las opiniones más autorizadas", deberá suceder, por virtud del principio de relatividad, que los viajeros encuentren a su regreso que para ellos han transcurrido sólo quince años y medio. Si esto fuese cierto, serían más jóvenes que si hubiesen quedado en la Tierra, y se podría *vivir despacio viajando deprisa*. Pasan los años y continúa la discusión de la paradoja de los relojes sin que se logre explicarla a gusto de todos. Desde nuestro punto de vista, la tal paradoja es, en realidad, un absurdo, pues según se verá en lugar oportuno de este libro, el problema en cuestión admite dos soluciones que, siendo igualmente legítimas, son incompatibles entre sí.

Al absurdo de los relojes se llega, inevitablemente, al utilizar las ecuaciones de Lorentz, por lo que está indicado el ver si pueden ser sustituidas por otras que expliquen los hechos en que se basa la teoría de Einstein y que no adolezcan de sus dificultades lógicas. Examinando a fondo la cuestión, logramos hallar unas fórmulas que cumplen estos requisitos, y que sólo difieren de las de Lorentz en la presencia de un factor, lo que permite desarrollar simultáneamente ambas teorías, la de Einstein y la nueva sin más que igualar a 0 ó a 1 el exponente de dicho factor.



Al emprender la tarea de elaborar una teoría basada en ecuaciones diferentes de las de Lorentz, nos dimos perfecta cuenta de que nos embarcábamos en una aventura que, según todas las probabilidades, estaba condenada al fracaso. Parecía empresa descabellada abandonar una ruta que había conducido a los portentosos descubrimientos logrados por Einstein y que había sido embellecida con las aportaciones de los mejores matemáticos, físicos y filósofos contemporáneos. Siendo tan hermosa y tan fecunda la teoría de Einstein, ¿qué importaba que los que no tuviésemos el cerebro privilegiado de su autor no entendiésemos lo que nos decía acerca del tiempo y del espacio? ¿No sería preferible atenernos a la buena lógica matemática y aceptar las consecuencias de los postulados relativistas aunque nos resulten incomprensibles?

Encontramos muy natural que la nueva teoría sea acogida con recelo por los especialistas en la materia, y hasta nos parecerá justificado que no quieran perder tiempo prestándole atención, pues tienen razones para estar persuadidos de la necesidad de aceptar precisamente las ecuaciones de Lorentz. Ocurre, en efecto que estas ecuaciones son las únicas compatibles con los fenómenos electromagnéticos tal como están descritos con las ecuaciones de Maxwell, que pueden ser consideradas como plenamente confirmadas experimentalmente. De aquí que Einstein y todos los relativistas hayan adquirido la persuasión de que su teoría dimanaba directamente de los hechos observados y que es vano intento tratar de modificarla.

Pero se da una circunstancia que probablemente pasará a la historia de la Física como una de sus más curiosas anécdotas, y es que todos los relativistas, empezando por Lorentz y Einstein, utilizan las ecuaciones de Maxwell escritas a la manera de Gauss, con lo que, en lugar de figurar dos constantes universales independientes sólo queda la primera, cuya invariancia es consecuencia del experimento de Michelson y Morley. Sommerfeld ha hecho notar las consecuencias funestas de este escamoteo. Pero no parece haber caído en la cuenta de que también tiene la culpa de que todos hayan creído en la necesidad de admitir las ecuaciones de Lorentz con todas las consecuencias. Al escribir correctamente las ecuaciones de Maxwell, ya no hay tal necesidad, pues cabe disponer de la permitividad del vacío, cuya invariancia no ha sido demostrada experimentalmente.

Las nuevas fórmulas nos han llevado, sin necesidad de más hipótesis, a las mismas consecuencias que, por haber sido comprobadas experimentalmente, se consideran como pruebas irrefutables de la teoría de Einstein. Claro es que la validez de la nueva teoría queda supeditada a lo que resulte de nuevos descubrimientos y a que sean o no confirmadas aquellas de sus consecuencias que difieren de las obtenidas con la teoría de Einstein; pero, sea como fuere, ya no se puede decir que ésta sea la única capaz de explicar los hechos conocidos hasta la fecha, y que tengamos que renunciar a las nociones newtonianas del tiempo y del espacio.

La novedad más importante de la nueva teoría consiste, aparte de proporcionar medios para, cuando menos en principio, medir la velocidad

absoluta de un sistema de referencia, es que todas las constantes universales, tales como la de la gravitación, la de Planck, etc., con la única excepción de la velocidad de la luz, cambian de medida cuando se pasa del espacio en reposo absoluto a otro sistema inercial cualquiera o a un campo gravitatorio, y ello de acuerdo con una regla muy sencilla basada en consideraciones dimensionales.

Debo expresar mi gratitud a don José Díaz Bejarano, por su valiosa ayuda en la revisión de los cálculos y en la corrección de pruebas.

Vemos en este texto algunas de las claves del pensamiento de Palacios que, como he indicado, analizaré en el epígrafe denominado "Las claves temáticas" y permiten situarnos para la síntesis de su teoría que pretendo realizar.

A continuación se presenta una síntesis de la crítica de Palacios a la relatividad y de su intento de construir una teoría alternativa que no contenga "contradicciones lógicas", como él mismo decía. Esta síntesis debe interpretarse como realizada desde el posicionamiento propio de Palacios en su versión que se puede considerar definitiva, sin interpretaciones ni valoraciones, como si fuera el mismo Palacios el que la realizara. Por versión definitiva me refiero a como si las conclusiones de Palacios hubieran aparecido de forma unificada, ya que, como sabemos, muchas de las ideas clave fueron apareciendo en textos diferentes a lo largo de muchos años, algunas veces con posibles contradicciones, como en lo relativo a los postulados. Las posibles interpretaciones, así como el análisis de los, a mi juicio, errores de razonamiento de Palacios, aparecen en el apartado dedicado a las claves temáticas, y se indican en esta síntesis mediante notas al pie. También en notas se indica la referencia de los textos originales donde aparecen las ideas y conclusiones expuestas. Por último, indicar que en esta síntesis no se muestran los desarrollos matemáticos realizados por Palacios, aunque igualmente se anotan al pie las referencias de dónde aparecen.

En la crítica a la relatividad, Palacios describe de forma ortodoxa y profunda la teoría einsteniana, deduciendo las consecuencias que se derivan de los postulados y desarrollando matemáticamente todos los aspectos relacionados. Para esta síntesis se muestran exclusivamente las aportaciones de Palacios.

La Teoría de la Relatividad de Einstein, con ser exitosa por haber logrado explicar hechos conocidos y predicho otros que se consideran pruebas "irrefutables"<sup>6</sup> de su validez, adolece, según Palacios, de importantes inconsistencias lógicas. La más evidente es la conocida como paradoja de los relojes. Ésta consiste en que dos observadores, asociados a sendos sistemas inerciales en movimiento respectivo, encuentran que el reloj del otro observador retrasa respecto al reloj propio. Esta inconsistencia se comprueba considerando un sistema S y otro S' que se mueve con velocidad rectilínea y uniforme respecto al primero. De las transformaciones de Lorentz entre sistemas de referencia, las usadas en la relatividad especial einsteniana, se deduce que el intervalo temporal, asociado a dos sucesos, medido en S siempre es mayor que el medido en S', es decir

$$t_2 - t_1 > t'_2 - t'_1 \quad [1]$$

---

<sup>6</sup> La denominación de *irrefutable* la usaba Palacios con asiduidad.

Esta deducción viene implícita de la ecuación de transformación para el tiempo

$$t' = \frac{t - (v/c^2)x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Pero por el principio de relatividad de Einstein nada se debe oponer a plantear el problema como si el sistema S fuera el que se mueve respecto de S', ya que los sistemas inerciales deben ser equivalentes, de donde tendríamos que

$$t'_2 - t'_1 > t_2 - t_1, \text{ en contradicción con [1]}$$

Realizando el desarrollo correspondiente en las ecuaciones de Lorentz, las soluciones conjugadas para ambos sistemas de referencia darían el absurdo<sup>7</sup>

$$\alpha = 1/\alpha \text{ con } \alpha = \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (8)$$

#### *Nuevas ecuaciones de transformación*

Por lo visto anteriormente, Palacios sugiere que hay que buscar unas nuevas ecuaciones de transformación que no contengan contradicciones lógicas<sup>9</sup>. Como las transformaciones de Lorentz se obtienen de los postulados relativistas, conviene a su vez revisar la base axiomática de los mismos. Los postulados originales de Einstein son los siguientes:

- Dado un sistema inercial, son inerciales todos los que se mueven con respecto a él con velocidad constante
- La luz se propaga con igual velocidad en todos los sistemas inerciales
- Todos los sistemas inerciales son equivalentes

Como las fórmulas de Lorentz parecen inadmisibles, se debe rechazar el principio de relatividad asociado al tercer postulado anterior, que es el que implica la contradicción asociada a que los intervalos temporales medidos por cada observador sean superiores respecto del otro observador. Con los dos primeros y estableciendo, a su vez, la necesidad de evitar la contradicción anterior se obtienen las siguientes ecuaciones de transformación<sup>10</sup>

$$x = x' + vt'; \quad y = \alpha y'; \quad z = \alpha z'; \quad t = t' + vx'/c^2; \quad [2.1]$$

$$\text{con } \alpha = \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Las inversas serían

<sup>7</sup> Palacios, "Revisión de la teoría de la relatividad" *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1957, p 69.

<sup>8</sup> Aclaración sobre terminología en el uso de variables y nombres de constantes. En este trabajo siempre se va a usar la siguiente notación  $\alpha = (1 - v^2/c^2)^{1/2}$ ;  $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$  es decir  $\gamma = 1/\alpha$ .

<sup>9</sup> El estudio crítico del planteamiento de Palacios sobre la paradoja de los relojes, a mi juicio erróneo, se realiza en el apartado de "claves temáticas". Para más detalle ver Sellés, "Espacio y tiempo en la teoría de la relatividad de Julio Palacios", *Asclepio*, 1982, p. 227.

<sup>10</sup> J. Palacios, *Relatividad. Una nueva teoría*, 1960, p. 67 a 69.

$$x' = \gamma^2(x - vt); \quad y' = y/\alpha; \quad z' = z/\alpha; \quad t' = \gamma^2(t - vx/c^2); \quad [2.2]$$

$$\text{con } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Con estas ecuaciones se obtiene  $t'_2 - t'_1 = t_2 - t_1$ , salvando así la contradicción indicada. Además hay otra consecuencia que afecta a la contracción de los cuerpos, de forma diferente a la concluida por Einstein. Desde el sistema en reposo todo ocurre como si los cuerpos cambian de tamaño y de forma con el movimiento, de tal forma que las dimensiones longitudinales se acortan en la proporción  $\alpha^2$  y las dimensiones transversales se acortan en la proporción  $\alpha$ .<sup>(11)</sup>

### *Espacio y tiempo*

En la teoría de Einstein, debido a la interpretación de Minkowski, el espacio y el tiempo se consideran unificados mediante una cronogeometría en un espacio de cuatro dimensiones, dándose una correspondencia entre magnitudes temporales y espaciales. En este espacio se considera el intervalo espacio-temporal definido por  $s^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2$ , siendo  $x_4 = ict$ , que, según Palacios, es una argucia matemática para definir un espacio abstracto de cuatro dimensiones donde desaparece toda distinción entre espacio y tiempo. Esta correspondencia entre espacio y tiempo es inadmisibles ya que espacio y tiempo son sustancialmente y dimensionalmente diferentes.<sup>12</sup>

Es necesario considerar la métrica de un espacio tensorial, como en el que nos movemos y donde están los objetos tangibles que tienen tres dimensiones. Se dice que dicho espacio posee una métrica cuando la expresión del elemento de línea es un invariante bajo las transformaciones definidas entre sistemas de referencia. Si consideramos como válidas las de Lorentz, recordemos que el elemento de línea viene dado, en un espacio de  $n$  dimensiones por la expresión

$$ds^2 = \sum_{\mu, \nu} g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu \text{ con } (\mu, \nu = 1, 2, \dots, n)$$

Para el espacio tridimensional en que nos movemos, donde se definen las propiedades geométricas entre objetos, la métrica viene dada por

$$ds^2 = (dx_1)^2 + (dx_2)^2 + (dx_3)^2$$

pero resulta que en la teoría de Einstein el elemento lineal no es invariante sino el intervalo espacio-temporal definido por

$$ds^2 = (dx_1)^2 + (dx_2)^2 + (dx_3)^2 - c^2 dt^2$$

Como no se mantiene invariante el intervalo lineal, Palacios concluye que no son aceptables las transformación de Lorentz y con ello la relatividad.<sup>13</sup>

<sup>11</sup> *ibid*, p. 77.

<sup>12</sup> *ibid*, p. 81 a 83. También considero este planteamiento equivoco, se analiza en el apartado 5.3 "claves temáticas".

<sup>13</sup> J. Palacios, "Métrica, metrología y geometría". *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 61, p 537-544, 1967.

### *Sistema en reposo absoluto y tiempo absoluto.*

En la teoría de Einstein, el hecho de que las transformaciones de Lorentz directas e inversas sean simétricas es una consecuencia de la equivalencia de los sistemas inerciales, por lo que la noción de espacio absoluto carece de sentido, es decir, no hay nada observable que distinga los sistemas inerciales. En cambio, en las nuevas ecuaciones de transformación no hay tal simetría, por lo que el sistema S que hemos supuesto en reposo debe poseer algún rasgo característico que se pueda observar o reconocer operativamente. La clave está en la contracción de los sólidos por efecto del movimiento y este cambio de dimensión hay que atribuirlo al cambio de velocidad que experimenta el cuerpo cuando pasa de un sistema en reposo a un sistema móvil. Por lo tanto todo cuerpo tiene su tamaño máximo cuando pertenece a un sistema que nunca ha sido acelerado y éste sería un sistema en reposo absoluto. De los posibles sistemas que nunca hayan sido acelerados, se puede considerar que existe sólo uno, solidario del lugar en que fue creado el universo.<sup>14</sup>

En cuanto al tiempo, en la teoría de Palacios, donde sí se postula un sistema en reposo absoluto S, para dos sucesos que ocurren en un mismo punto del sistema S', el tiempo transcurrido entre los mismos medido desde el sistema en reposo absoluto es  $t_2 - t_1 = t'_2 - t'_1$ . Con esto el contraste entre los relojes se debe efectuar desde el sistema en reposo, con lo cual se logrará que todos los relojes, tanto los fijos como los móviles, tengan el mismo periodo medido desde S. De esta forma todas las duraciones medidas en cuerpos solidarios de un sistema inercial cualquiera darán el mismo resultado que si la medida se hubiera realizado desde el sistema en reposo absoluto, siempre según la teoría de Palacios.

Si ahora tenemos dos sucesos que ocurren en un mismo punto del sistema en reposo S, el tiempo transcurrido entre los mismos medido desde el sistema en movimiento S' viene dado, según la teoría de Palacios, por  $t'_2 - t'_1 = (t_2 - t_1)/\alpha^2$ , por lo que la duración de un fenómeno de un sistema en reposo absoluto parece mayor si se mide desde un sistema móvil, pero realmente es una medida en la que se obtiene un resultado aparente.<sup>15</sup>

### *Formula de transformación de la velocidad y naturaleza de la velocidad de la luz.*

Partiendo de las nuevas ecuaciones de transformación se obtienen las ecuaciones de transformación para las velocidades, que resultan ser las mismas que las obtenidas a partir de las de Lorentz<sup>16</sup>, es decir

<sup>14</sup> J. Palacios, *Relatividad. Una nueva teoría*, 1960, p. 84 y 85.

<sup>15</sup> Palacios, *Relatividad. Una nueva teoría*, 1960, p.. 86 y 87. En este aspecto Palacios es, en mi opinión, muy confuso y no queda claro como justifica esta idea. Desde mi punto de vista parece que Palacios interpreta esta solución (del intervalo temporal medido en el sistema S') como ajena a la realidad, es decir sólo como instrumento matemático que salva la inconsistencia lógica que, según él, hay en la teoría de Einstein. La interpretación de Palacios es que esta medida desde S' implica que no se pueden sincronizar los relojes desde el sistema en movimiento, y que sólo es válida la sincronización desde el sistema en reposo absoluto, con lo que se evitan las inconsistencias lógicas.

<sup>16</sup> El desarrollo matemático se puede consultar en Palacios, *Relatividad. Una nueva teoría*, 1960, p. 89-91.

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + u'_x \frac{v}{c^2}} ; \quad u_y = \frac{\alpha u'_y}{1 + u'_x \frac{v}{c^2}} ; \quad u_z = \frac{\alpha u'_z}{1 + u'_x \frac{v}{c^2}}$$

Estas transformaciones para las velocidades resultan ser las mismas para las dos teorías, la de Einstein y la *nueva* de Palacios, con lo que se concluye que, igual que en la teoría de Einstein, la velocidad de la luz es un límite de la Naturaleza, ya que superándose violaría el principio de causalidad. El experimento de Michelson-Morley sólo se puede explicar con la invarianza de  $c$ , pero a diferencia de la teoría einsteniana, dicha invarianza no es una ley natural, sino consecuencia tanto de la posibilidad de sincronizar los relojes entre sistemas inerciales como de la doble naturaleza de la luz como onda y corpúsculo.<sup>17</sup> Una de las claves del problema está en el análisis dimensional, por el que *cantidad = medida x unidad*, de tal forma que en las ecuaciones de Einstein donde  $c$  aparece como constante, realmente no se debe considerar que sea una cantidad, sino una medida de la velocidad de la luz.<sup>18</sup>

#### *Inercia de la energía y Dinámica relativista*

La teoría electromagnética ya postuló la previsión de que la energía tiene masa inercial y la expresión  $E=mc^2$  puede obtenerse de la teoría de Maxwell sin recurrir al principio de relatividad. Por lo tanto, según Palacios, esta idea no debe atribuirse a la Teoría de la Relatividad de Einstein.<sup>19</sup> La explicación es la siguiente: partimos del supuesto de un tren de ondas que incide normalmente sobre una lámina conductora. El campo electromagnético asociado a las ondas origina en la lámina corrientes inducidas que, a su vez, por efecto del mismo campo electromagnético, están sometidas a fuerzas que mueven la lámina. Si en el sistema formado por el tren de ondas y la lámina no hubiese más masa que la de la lámina, esto implicaría que el centro de masas del sistema se hubiera movido, lo que está en contradicción con el principio de inercia. Por lo tanto, para mantener la hipótesis de que el centro de masas del sistema debe permanecer invariable es preciso atribuir a las ondas cierta masa  $m_w$ , masa que sólo puede depender de la energía de las ondas ( $W$ ), y por lo tanto de su frecuencia, y de las constantes del vacío  $\epsilon_0$  y  $\mu_0$ . Basándonos en el *teorema de pi* del Análisis Dimensional se puede deducir<sup>20</sup> que siendo las magnitudes implicadas  $m_w$ ,  $\epsilon_0$ ,  $\mu_0$  y  $W$  debe haber una relación de proporcionalidad de la forma  $m_w = kW/c^2$ . Para calcular la constante  $K$  se considera un caso particular en el que las ondas son totalmente absorbidas, es decir no hay ondas reflejadas ni transmitidas. De esta manera la ecuación de Maxwell

$$\text{rot } H = i + \frac{\partial D}{\partial t} \quad \text{se convierte en } i_x = 0; \quad i_y = -\frac{\partial H_z}{\partial x}; \quad i_z = 0; \quad .$$

<sup>17</sup> Palacios "The invariance of the velocity of light" *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid* v 54, 1960, Pág 493

<sup>18</sup> Palacios "Óptica de los cuerpos en movimiento" *ibid*, 1963.

<sup>19</sup> Palacios, "Dinámica relativista", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, vol 69, 1965, p 37-44. La discusión de esta revisión histórica de Palacios se realiza en el apartado sobre las claves temáticas, el 4.4.3.

<sup>20</sup> Palacios no desarrolla la deducción. Ésta la realiza en el mismo apartado indicado 4.4.3.

Desarrollando la expresión de la fuerza ejercida por el campo  $\vec{f} = hI \wedge \vec{B}$  donde  $h$  es la altura de la lámina, Palacios llega a la expresión diferencial

$dm_w = d\frac{W}{c^2}$ , de donde se deduce que  $k=1$ , con lo que tenemos que la masa inercial es  $W/c^2$ , o bien con la expresión clásica  $E=mc^2$ .

El hecho de asociar inercia a la energía obliga a modificar los principios de conservación de la masa y la energía, y, por tanto, la dinámica newtoniana.

Basándonos exclusivamente en el principio de inercia de la energía, se puede demostrar la ecuación fundamental de la dinámica, “impropiamente llamada ecuación relativista”, es decir  $\vec{F} = m \frac{d(v/\sqrt{1-v^2/c^2})}{dt}$ .<sup>(21)</sup>

Esta ecuación sólo es aplicable a las fuerzas de contacto, como las debidas a las fuerzas elásticas o al choque de ondas electromagnéticas. Para las “acciones a distancia” como las eléctricas o magnéticas sigue siendo válida la newtoniana, es decir  $\vec{F} = m \, dv/dt$ .

En cuanto a la relación entre masa, materia y energía, Palacios aduce que es incorrecta la interpretación de Einstein sobre la transformación de masa en energía por la cual se pueden considerar magnitudes equivalentes. En realidad la masa es un atributo común a todas las especies de materia y a todas las formas de energía, pero no son equivalentes masa y energía. En el proceso de transformación lo que sucede es que la energía  $W$ , que se hallaba en el sistema en una u otra forma, lleva consigo, al ser expulsada, toda su masa  $W/c^2$ . Nada autoriza, pues, a decir que la masa se ha transformado en energía ni que ambas magnitudes son equivalentes, como sucede con el calor y el trabajo, por ejemplo. De acuerdo con el Análisis Dimensional, la masa y la energía deben considerarse como magnitudes inseparables, cuya razón es siempre una constante universal. En este caso, la constante universal es  $1/c^2$ .

Respecto a la energía, un sistema tiene tres tipos, interna, cinética y potencial. Siempre según Palacios, no es correcta la idea de Einstein de la unicidad en un solo principio de conservación de los dos principios de conservación, el de masa y el de la energía, ya que es “la expresión de un fenómeno previsto con anterioridad a la teoría de Einstein”.

En los casos de producción de corpúsculos como protón-antiprotón o neutrón-positrón mediante el consumo de la energía de un fotón o bien del fenómeno opuesto, destrucción de los corpúsculos con la correspondiente generación de energía radiante, lo correcto es afirmar que la masa total del sistema se conserva, ya que la masa ganada como masa de la energía es la perdida como masa propia. Es decir, en realidad lo que hay es transformación de materia en energía. Por lo tanto subsiste el

---

<sup>21</sup> La demostración completa aparece en Palacios “Dinámica relativista” *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, 1965, v. 59 p. 51 a 55.

principio de conservación de la masa total. Lo correcto es, pues, hablar del principio de equivalencia entre materia y energía.<sup>22</sup>

### *Las constantes universales*

Para Palacios en física ha sido fuente de problemas el que se haya mantenido una confusión en el ámbito de la teoría dimensional entre la cantidad de una magnitud física y su medida, que es necesario aclarar con la ayuda del Análisis Dimensional.

Tenemos que la relación entre cantidad, medida y unidad viene dada por

$(A)=A \times U_A$ , donde  $(A)$  es la cantidad,  $A$  es la medida y  $U_A$  es la unidad.

Si se considera una fórmula dimensional del tipo  $[A]=L^{\lambda} M^{\mu} T^{\sigma}$ , desarrollando la relación entre unidades en dos sistemas de referencia  $S$  y  $S'$  y aplicando dicho desarrollo a las constantes universales  $c$ ,  $G$  y  $h$ , Palacios llega a la siguiente expresión para las transformaciones de cada una de estas constantes.<sup>23</sup>

$$c=c'$$

$$G=\alpha G'$$

$$h=\alpha h'$$

$$\text{con } \alpha=\sqrt{1-v^2/c^2}$$

En consecuencia el movimiento hace que las constantes de gravitación y de Planck cambien su valor de acuerdo a su fórmula dimensional, pero la velocidad de la luz sí es un invariante.<sup>24</sup> Además al combinar las nuevas ecuaciones de transformación con la fórmula  $\varepsilon=h\nu$  resulta que la constante de Planck  $h$  no es invariante bajo transformaciones de coordenadas, es decir que en un sistema en movimiento es

$$h'=h/\alpha.$$

Como afirma Palacios “salta a la vista la importancia de este resultado para la mecánica ondulatoria”. Una de las consecuencias es que la frecuencia de la onda asociada a un fotón emitido por un cuerpo en movimiento es  $\nu'=\nu/\alpha$  y esto explica tanto el corrimiento al rojo del espectro de los rayos solares como la dilatación temporal asociada a la prolongación de la semivida de los mesones rápidos. Para este caso, sin más que aplicar las formulas de transformación para la masa y la constante de Planck, “se explica inmediatamente la prolongación de la semivida de los mesones rápidos” que recordemos era una de las comprobaciones experimentales de la

<sup>22</sup> Palacios. *Relatividad. Una nueva teoría*. Espasa Calpe, Madrid, 1960, p.101-28; Palacios. “Dinámica relativista” *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid* 1965, vol. 59 p 37-69.

<sup>23</sup> Esta demostración se desarrolla en el apartado 5.3.4 “Las claves temáticas. Constantes de la Naturaleza”.

<sup>24</sup> Más tarde Palacios sí planteó la variación de la velocidad de la luz, como por ejemplo en “los fundamentos experimentales de la teoría de la relatividad”, *Boletín Acad. Nacional Ciencias de Argentina*, 35, 1963, p. 337-345 y “Óptica de los cuerpos en movimiento. Comentarios al experimento de Kantor” *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 57, p. 237 a 291, 1963, pero para esta síntesis no he considerado esta idea de Palacios porque posteriormente la abandonó, volviendo a postular la invarianza de  $c$ .



dilatación temporal relativista, y ahora se justifica por la variación de la constante de Planck.<sup>25</sup>

### *Masa inercial y masa gravitatoria*

Según Palacios, es un error equiparar masa inercial con gravitatoria, “pues para poder decir que dos cantidades son iguales es preciso que sus efectos sean iguales, y ocurre que la masa inerte y la gravitatoria se manifiestan por efectos que no son comparables entre sí porque son de índole totalmente diferente”<sup>26</sup>

En definitiva, aunque el desarrollo matemático dé el resultado de  $g = a$ , esta igualdad es entre medidas ya que “sería erróneo deducir de esta ecuación que la intensidad del campo y la aceleración son una misma cosa o que son cosas equivalentes, pues se trata de magnitudes inconfundibles que ni siquiera pueden transformarse una en otra. La ecuación dice, tan solo, que sus medidas son iguales cuando se utilizan unidades coherentes con ella”.<sup>27</sup>

Al realizar las ecuaciones dimensionales para la masa inercial y la gravitatoria se llega a las siguientes expresiones, con lo que queda patente la distinta índole de ambas masas:

$$[m_g] = L^{2/3} M^{1/2} T^{-1}$$

$$[m_i] = M$$

Además partiendo de la ley de gravitación newtoniana la relación entre ambas masas viene dada por la expresión

$$M_g = \sqrt{G} m_i$$

Por lo tanto, para Palacios, identificar la masa inerte con la gravitatoria “equivale a negar la existencia de la constante de gravitación”.<sup>28</sup>

### *Gravitación*<sup>29</sup>

La idea básica de la relatividad general es la covarianza de las leyes físicas para cualquier sistema de coordenadas no inerciales que conducen a unas ecuaciones de campo que, a su vez, incluyen como caso límite de pequeños campos gravitatorios las de Newton. Esta teoría fue ratificada por tres hechos confirmados experimentalmente, la precesión del perihelio de Mercurio, la desviación de los rayos de luz próximos a la

<sup>25</sup> Palacios, “¿Se debe revisar la teoría de la relatividad? *Anales Soc. Esp. Física y Quím*, v 53-A, p. 31 a 42, 1957 y Palacios *Relatividad. Una nueva teoría*. Espasa Calpe, Madrid, 1960, p. 128 a 132. Sobre la trascendencia de esta conclusión véase el apartado dedicado a las claves temáticas, en concreto el epígrafe “Constantes de la Naturaleza” donde discuto el planteamiento de Palacios.

<sup>26</sup> Palacios, “Inercia y Gravitación. Estudio crítico de la teoría general de la relatividad” *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1965, v. 59 p. 466.

<sup>27</sup> *ibid*, p. 473.

<sup>28</sup> Más adelante discuto este fundamental aspecto de la teoría de Palacios en el apartado “Claves temáticas”, epígrafe “Gravitación en la teoría alternativa de Palacios”.

<sup>29</sup> Para la síntesis de esta parte se ha usado principalmente *Relatividad. Una nueva teoría*. Espasa Calpe, Madrid, 1960 Cap. VII “Relatividad General”, p. 232 a 257 e “Inercia y Gravitación. Estudio crítico de la teoría general de la relatividad” *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1965, v. 59, p. 461-499. Este es uno de los aspectos donde Palacios, en mi opinión, se muestra más confuso y contradictorio a lo largo de sus textos.

acción gravitatoria del sol y el corrimiento de las rayas espectrales emitido por estrellas masivas.

Pero se pueden explicar las tres verificaciones citadas sin mantener el postulado del principio de relatividad que implica la paradoja de los relojes. “Por fortuna, ello es factible sin gran aparato de cálculo siguiendo, *mutatis mutandis*, el camino seguido por Sommerfeld”.<sup>30</sup>

Según el desarrollo de la relatividad general basado en las transformaciones de Lorentz el elemento de línea es de la forma

$$ds^2 = dr^2/\alpha^2 + r^2 (d\theta + \sin^2\theta d\phi^2) - \alpha^2 c^2 t^2$$

En cambio según las transformaciones de Palacios es de la forma

$$ds^2 = dr^2 + \alpha^2 r^2 (d\theta + \sin^2\theta d\phi^2) - \alpha^2 c^2 t^2$$

El origen de la solución a cualquier problema es la ecuación de movimiento de un punto material que está determinada por la ecuación

$$\delta \int ds = 0$$

Para la explicación del avance del perihelio de Mercurio, se parte de la ecuación anterior, pero aplicada al elemento de línea deducido de las transformaciones nuevas, llegando a la misma solución que desde el elemento de línea “relativista”, es decir el usado por Sommerfeld.<sup>31</sup>

$$\text{La solución es } \delta\omega = \frac{6\pi r_0}{a(1-\varepsilon^2) - 3r_0}$$

Para el caso de la desviación de los rayos luminosos, se considera que éstos son líneas geodésicas y se aplica la misma ecuación de movimiento que en el caso anterior, llegando a la misma solución que Einstein  $dr/dt = (1 - 2r_0/r) c$ <sup>32</sup>

En cambio, para el caso de las rayas espectrales se puede explicar el corrimiento por el cambio en la constante de Planck<sup>33</sup>, dando

$$v' = v (1 - r_0/r)$$

Con todo lo anterior, Palacios concluye que procede volver a la teoría de la gravitación de Newton pero introduciendo las modificaciones establecidas anteriormente. La principal es que los efectos gravitatorios no implican un cambio en la geometría del espacio, ya que según Einstein lo que se ve afectada es la geometría del espacio-tiempo y como se vio anteriormente el espacio-tiempo einsteniano no es una realidad y adolece de consistencia lógica. Por lo tanto conviene recuperar la idea

<sup>30</sup> Palacios *Relatividad. Una nueva teoría*. Espasa Calpe, Madrid, 1960, p. 234. En nota al pie se refiere al volumen tercero de Sommerfeld *Lectures on Theoretical Physics* de 1948 que en inglés se publicó con el nombre de *Electrodynamics* en 1952. En claves temáticas se critica este “apoyo” usado por Einstein, comparando ambos textos.

<sup>31</sup> La deducción con el consiguiente desarrollo matemático aparece en Palacios *Relatividad. Una nueva teoría*. Espasa Calpe, Madrid, 1960, p. 248 a 254.

<sup>32</sup> *Ibidem* p. 254 a 256.

<sup>33</sup> *Ibidem* p. 257.

del éter ya que permite explicar la acción del campo gravitatorio. De esta manera el éter es contraído por campos gravitatorios de la misma forma que los cuerpos sólidos.

El factor de contracción del éter en un campo gravitatorio en función del potencial de dicho campo  $V$  viene dado por la expresión<sup>34</sup>

$$\beta = 1 / (1 - V/c^2)$$

Como  $V = \frac{-GM}{r}$  entonces es  $\beta = \frac{1}{1 + \frac{GM}{rc^2}}$  y se puede calcular el caso para el sol

donde se comprueba que el factor de contracción es prácticamente 1. De esta forma sin considerar la deformación del éter sigue rigiendo la ley de Newton.

La ecuación que obtiene del potencial gravitatorio en sustitución de la de Newton es

$$V = \beta^{-4} GM/r.$$

Partiendo de esta conclusión se puede tratar también los tres problemas clásicos de confirmación de la relatividad general, comentados anteriormente, obteniéndose para todos los casos las mismas fórmulas que Einstein. En el caso de la desviación de los rayos luminosos, en vez de ser ésta producida por un cambio en la métrica del espacio, es debida a un índice refractivo del éter que depende del potencial gravitatorio. Es decir “el éter se comporta como un medio refringente no dispersivo cuya densidad óptica es afectada por la presencia de los cuerpos materiales”.

### *Éter, vacío y realidad física*

Según Palacios, hay que distinguir entre el vacío abstracto y el vacío físico, al que se le puede conceder realidad física porque, por ejemplo, en él se pueden medir magnitudes como la permitividad eléctrica, la permeabilidad magnética y la velocidad de la luz, que además están relacionadas según la teoría electromagnética de Maxwell

mediante la ecuación  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ .

Esta idea hace que el espacio tenga estructura y es lo que se identifica con el éter. En definitiva, además del éter como estructura del espacio, tendríamos la recuperación de la idea del éter como referencial absoluto.<sup>35</sup>

Con el planteamiento realista, en principio sólo pueden tener cabida en la Física las magnitudes que, o bien son perceptibles directamente, como la velocidad o temperatura, o bien se manifiestan por algún efecto medible, como la energía o el campo gravitatorio. Y en relación con este problema se presenta el de la consideración del espacio como entidad física. El espacio vacío, aunque imaginable por abstracción, en principio no contiene nada observable ni medible por lo que estaría fuera del

<sup>34</sup> Palacios usa el símbolo  $\alpha$ , pero creo más conveniente usar  $\beta$  para evitar confusiones con el factor  $\alpha$  de las ecuaciones de transformación.

<sup>35</sup> Palacios. “Los postulados de la nueva teoría de la relatividad”, *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, 1960, p 201-203.

dominio de la física. Pero en el espacio físico sí se puede medir la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética.

Aplicando el pensamiento realista a la geometría, ésta sólo puede ser euclídea, ya que es un descubrimiento y no una invención como las geometrías curvas. Además es la única intuitiva.<sup>36</sup>

#### *Electromagnetismo y relatividad.*

El modo tradicional de expresar las ecuaciones de Maxwell según el sistema de Gauss induce a errores importantes que permiten, según Palacios, dar solvencia a la teorías de Einstein. Estas ecuaciones son de la forma

$$\begin{aligned}\vec{D} &= \vec{E} & ; & & \vec{B} &= \vec{H} \\ \text{div } \vec{E} &= \rho & ; & & \text{div } \vec{H} &= 0 \\ \text{rot } \vec{E} &= -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & ; & & \text{rot } \vec{H} &= \frac{1}{c} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right).\end{aligned}$$

El problema, entiende Palacios, es que con este sistema se usa a conveniencia que la permitividad eléctrica en el vacío y la permeabilidad magnética en el vacío se igualen a la unidad, es decir  $\epsilon_0 = 1$  y  $\mu_0 = 1$  de tal forma que la velocidad de la luz

$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$  se iguala a su vez a 1, lo que es una inconsistencia. Si se escriben las

ecuaciones de Maxwell correctamente se solventa el problema.<sup>37</sup>

En la teoría de la relatividad es necesario escribir las ecuaciones del electromagnetismo de acuerdo con el sistema de unidades gaussianas, en las cuales sólo hay una constante universal: la velocidad de la luz,  $c$ . Estas ecuaciones no satisfacen el principio de homogeneidad física<sup>38</sup>, por lo que la teoría de Einstein entra en conflicto con dichas ecuaciones.

El hecho de que se haya adoptado el sistema de Giorgi, (también denominado sistema MKSA) implica que la permitividad eléctrica  $\epsilon$  y la permeabilidad magnética  $\mu$  deben tener dimensiones y por lo tanto la forma correcta de escribir las ecuaciones de Maxwell es la siguiente

$$\begin{aligned}\vec{D} &= \epsilon \vec{E} & ; & & \vec{B} &= \mu \vec{H} & ; & & c &= \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} \text{ que para el caso del vacío es } c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \\ \text{div } \vec{D} &= \rho & ; & & \text{div } \vec{B} &= 0 \\ \text{rot } \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & ; & & \text{rot } \vec{H} &= \vec{j} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}\end{aligned}$$

<sup>36</sup> Palacios. "Ficción matemática y realidad física". *Atlántida*. RIALP, 1963, p 645.

<sup>37</sup> Palacios. *Relatividad. Una nueva teoría*. Espasa Calpe, Madrid 1960, p. 196.

Partiendo de la teoría de la relatividad y de la ley de Coulomb, se puede demostrar que dichas ecuaciones en el vacío no pueden contener las constantes  $\epsilon_0$  ni  $\mu_0$  por lo que las ecuaciones de Maxwell se deben expresar en el sistema de unidades gaussianas, esto es

$$\begin{aligned}\vec{D} &= \vec{E} & ; & & \vec{B} &= \vec{H} \\ \text{div } \vec{E} &= \rho & ; & & \text{div } \vec{H} &= 0 \\ \text{rot } \vec{E} &= -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & ; & & \text{rot } \vec{H} &= \frac{1}{c} \left( \vec{j} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right).\end{aligned}$$

En resumen las ecuaciones de Maxwell en el sistema gaussiano no cumplen con el principio de homogeneidad, ya que las ecuaciones no son dimensionalmente correctas. Como a su vez, según la relatividad las ecuaciones correctas son éstas y no las del sistema de Giorgi, esto implica que la relatividad incumple con el citado principio de homogeneidad, por lo que debe ser rechazada.

### *Conclusión*

Por las características del intento de Palacios, realmente completo, abarcando todos los aspectos relacionados con la relatividad, salvo los de la mecánica cuántica relativista (lo que considero una limitación importante de su teoría), creo conveniente remitir al prólogo ya transcrito anteriormente de su libro de 1960, donde expone sus principales conclusiones, basadas en unas nuevas transformaciones que salvan las supuestas paradojas de la teoría einsteniana, explican los mismos hechos experimentales, y donde las constantes universales no son ya invariantes.

#### 4.4.2. PUBLICACIONES DE PALACIOS SOBRE RELATIVIDAD.

En este apartado se va a realizar un análisis genérico, sin entrar en detalles de contenido, de todas las publicaciones de Palacios relacionadas, directa o indirectamente, con la relatividad. Por lo tanto, también se tratan las publicaciones sobre otros temas pero que tenían una indudable influencia en su pensamiento respecto a la relatividad, como el problema de las magnitudes y las unidades, el análisis dimensional o el posicionamiento filosófico basado en el realismo ingenuo. Igualmente aparecen los primeros textos donde, tratándose la relatividad, ésta se expone sin plantear críticas o dudas.

Primero se van a repasar los libros completos escritos por Palacios y posteriormente sus artículos publicados tanto en revistas especializadas como de contenido cultural o

---

<sup>38</sup> El principio de homogeneidad física establece que las ecuaciones tienen que ser dimensionalmente coherentes, es decir que en los dos miembros de la ecuación aparezcan las mismas dimensiones con los mismos factores y/o exponentes.

filosófico. Aunque el ámbito de estudio de esta Tesis Doctoral se ciñe a las publicaciones en medios científicos, en el caso de Palacios se hace una excepción por las especiales características en su intento, único en España, de construir una teoría alternativa a la de Einstein, que le llevó incluso a una campaña en prensa, inaudita en un científico de su prestigio. Aunque de sus artículos en prensa diaria no se realiza un exhaustivo análisis, en los siguientes epígrafes se citan algunos significativos.

La relación de libros en los que aparece, aunque sea indirectamente, temas sobre relatividad es la siguiente:

- *Introducción a la Mecánica Física*, Ministerio del Aire, Madrid, 1942. (Otras ediciones: *Mecánica Física*, 2ª edición, 1948; 3ª edición, 1963).
- *Electricidad y Magnetismo*, Ministerio del Aire, INTA, Madrid, 1945; 2ª edición, Madrid, 1959.
- *Física Nuclear (De Leucipo a la bomba atómica)*, Valencia, 1947.
- *Esquema físico del mundo*, ed. Alcor, Madrid, 1947.
- *Análisis Dimensional*, Espasa Calpe, 1956; (Otras ediciones: *Analyse Dimensionnelle*, Gautier-Villars, París, 1960; *Análisis Dimensional*, 2ª edición. Espasa Calpe, 1964; *Dimensional Analysis*, Mc Millan, Londres, 1964 )
- *Relatividad. Una Nueva Teoría*, 1960, Espasa Calpe.

El motivo de indicar distintas ediciones del mismo libro es que, como vamos a ver, en algunos casos hubo cambios sustanciales precisamente en apartados donde se trata la relatividad. Parece ser que hubo un último libro que no pudo llegar a completar Palacios, al morir cuando estaba en elaboración. Se iba a denominar *Relatividad y Antirrelatividad*. Su mujer, Elena Calleya, cuenta en su libro *Semblanza biográfico-científica de Julio Palacios* que ya había publicado dos capítulos en revistas y tenía otros dos escritos (Palacios solía aprovechar textos ya publicados para libros posteriores).

En los años 40 Palacios escribió tres libros de física a nivel universitario, que como decía Terradas en un prólogo del último de ellos, forman una trilogía sobre física, “completando entre todos la exposición magistral”. Estos tres libros son *Introducción a la Mecánica Física*, Madrid 1942, *Termodinámica y estructura de la materia*, Madrid 1942 y *Electricidad y Magnetismo*, Madrid 1945. A esta trilogía se le puede añadir su famoso libro de texto, también a nivel universitario, *Física para Médicos*, Madrid 1945, que completan uno de los mejores conjuntos de manuales de texto universitario escritos por un español.

El primero y tercero, es decir *Mecánica Física* y *Electricidad y Magnetismo* tienen un indudable interés para el tema que nos ocupa ya que expone la relatividad, en sus respectivas primeras ediciones, sin que se pueda apreciar rechazo a la misma. En principio plantea la relatividad de forma ortodoxa.

Del primero, *Introducción a la Mecánica Física*, se publicaron tres ediciones, la primera en 1942, publicada en Madrid por el Ministerio del Aire, la segunda en 1948 publicada en Madrid con cambio de nombre (pasa a denominarse *Mecánica Física*

pero realmente es el mismo libro porque indica 2ª edición y además es exactamente igual a la primera) y la tercera edición en 1963 publicada por Espasa Calpe (edición que indica corregida y aumentada).

En esta tercera edición efectivamente Palacios suprime toda la parte de la relatividad einsteniana en el capítulo dedicado al movimiento relativo, pero no explica su nueva teoría. El motivo de la supresión lo defiende en el prólogo a esta edición de la siguiente manera

En esta edición he introducido importantes alteraciones, fruto de meditar sobre dos cuestiones fundamentales: el Análisis Dimensional y la teoría de la relatividad. Mis ideas sobre ambas materias han sido razonadas en sendos libros, y me ha parecido oportuno tenerlas en cuenta en este tratado de Mecánica. Por eso, he modificado totalmente el capítulo que trataba de la homogeneidad de las ecuaciones físicas y del principio de similitud, y he suprimido en el dedicado al movimiento relativo todo lo relacionado con la teoría de Einstein. El lector interesado en esta teoría, puede ver la crítica que de ella hago en mi libro *Relatividad. Una nueva teoría*, y verá como puede sustituirse por otra que explica todos los hechos que se aducen como confirmaciones experimentales de la teoría einsteniana y está exenta de las dificultades lógicas de que adolece esta última.<sup>39</sup>

De *Electricidad y Magnetismo* se publicaron dos ediciones, la primera en 1945 y la segunda por Espasa Calpe en 1959. En la primera desarrolla un capítulo sobre relatividad denominado, “Electrodinámica de los cuerpos en movimiento” que también se puede situar perfectamente dentro del pensamiento relativista. En la segunda edición elimina este capítulo, pero sin embargo, no comenta esta supresión en el prólogo.

El libro de 1947, *Esquema físico del mundo*, no es de texto, sino de divulgación con algo de reflexión filosófica sobre aspectos de la Física que se prestan a ello. En esta época muchos físicos hicieron este tipo de aproximaciones al género de ensayo filosófico-científico. Libros de este tipo, son por ejemplo *La naturaleza del mundo físico* de Eddington o *La imagen de la naturaleza en la física actual* de Heisenberg. Solían tratar los temas relacionados con la física cuántica y la relatividad. El texto de Palacios está dividido en tres partes, la primera “meditaciones”, tratando temas sobre el espacio, el tiempo, la energía, etc; la segunda “la cuantización de la mecánica “ y la tercera “causalidad” sobre la nueva física cuántica y sus implicaciones. Como vemos, donde trata Palacios los temas relacionados con la relatividad es en la primera parte, pero todavía no se deduce ninguna crítica trascendente a la teoría de Einstein, aunque sí se intuye una cierta predisposición a no abandonar las ideas intuitivas asociadas a los conceptos y teorías de la Física, pero en ningún momento esta predisposición parece anunciar la crítica tan contundente de años posteriores. En cambio esa predisposición por la física intuitiva no parece implicar en Palacios ningún problema respecto a la Física Cuántica, con la que nunca pareció tener problemas.

---

<sup>39</sup> Palacios, *Mecánica Física*, 3ª edición, Espasa Calpe, 1963, p 3.

De forma similar se puede interpretar el libro de divulgación *Física Nuclear* de 1947 sobre la historia de esta disciplina. También aquí trató sin ningún tipo de crítica algunos temas relacionados con la relatividad como el de la relación entre masa y energía.

La obra cumbre de Palacios que le hizo famoso fue *Análisis Dimensional* (1956), a la que González de Posada denomina “Obra maestra”. Efectivamente fue publicada en francés en 1960 y en inglés en 1964, siendo el primer físico español del que se publican sus obras en ediciones extranjeras. Así lo destaca el diario madrileño *ABC*

UN FÍSICO ESPAÑOL, TRADUCIDO AL INGLÉS. El “Análisis Dimensional” del eminente profesor Julio Palacios, acaba de ser traducido al inglés y publicado por la editorial McMillan. Es la primera vez que ha sido vertida a la lengua inglesa una obra debida a un físico español.<sup>40</sup>

Tampoco en esta obra se puede observar una refutación clara de la relatividad, aunque sí indicios de su incomodidad con el principio de equivalencia entre masa inercial y gravitatoria, principalmente por cuestiones dimensionales. Después de exponer los fundamentos del Análisis Dimensional, realiza las diferentes aplicaciones del estudio dimensional en respectivas disciplinas de la Física como dinámica de sólidos, mecánica de fluidos, aerodinámica, termodinámica, mecánica estadística, radiación térmica, electromagnetismo, mecánica relativista y física corpuscular, entre otras. El capítulo XVIII es el dedicado a la mecánica relativista. Al estudiar las magnitudes de la mecánica relativista concluye que “las precedentes definiciones implican la intervención de la constante universal  $c$  en todo fenómeno de movimiento, pero en nada alteran el sistema dimensional de la Mecánica clásica, puesto que cumplen el requisito de homogeneidad condicionada”<sup>41</sup>. Vemos pues que desde el punto de vista dimensional no se ponen reparos a la relatividad, aunque previamente sí hay un aspecto importante en el que se separa de la misma. Es el referente al principio de equivalencia, aunque no lo cita, concluyendo que la masa gravitatoria es proporcional a la inercial y el factor de proporcionalidad es  $G^{1/2}$ . En este aspecto, al contrario de lo que hará posteriormente, no realiza ningún comentario sobre que esta relación de proporcionalidad invalida el principio de equivalencia einsteniano. En cambio, cuando habla de las transformaciones de Lorentz, aunque tampoco realiza ninguna impugnación, da la referencia de su primer artículo crítico con la relatividad, el publicado en *Physicalia* en 1955. Da la impresión de que Palacios, consciente de la trascendencia de esta obra y de su posible impacto, no quiere explicitar sus dudas sobre relatividad. De todas formas otro aspecto donde se muestra la incomodidad de Palacios es el que, según él, la unificación del espacio y el tiempo debida a la relatividad implicaba que debieran tener una misma dimensión y su intención es ver “si procede o no modificar su formula dimensional”<sup>42</sup>. Palacios dice que no va a entrar en cuestiones metafísicas, para lo cual refiere su texto de 1953 “El lenguaje de la física y su peculiar filosofía”, sino exclusivamente las referentes al problema de las magnitudes, incidiendo en que espacio y tiempo siguen siendo dimensionalmente

<sup>40</sup> *ABC*, 25-10-1964, p. 119.

<sup>41</sup> J. Palacios, *Análisis Dimensional*, 1956, p. 231.



independientes. En mi opinión esta aproximación ya no es correcta porque en ningún momento la relatividad einsteniana plantea la unificación del espacio y el tiempo incluso a nivel dimensional. Esta confusión se tratará más adelante, en el apartado 4.4.3 “Las claves temáticas”.

En definitiva parece que Palacios ve alguna inconsistencia en interpretaciones de la relatividad respecto de cuestiones dimensionales, pero da a entender que con su interpretación se salva tanto la teoría dimensional como la relatividad. No creemos que de este texto se pueda concluir una idea antirrelativista en Palacios, aunque remite a algún artículo suyo claramente antirrelativista.

En la segunda edición de *Análisis Dimensional* (1964) deja exactamente igual la parte dedicada a la mecánica relativista, donde habíamos comentado que no se puede deducir una crítica a la relatividad. En cambio, sí hay modificaciones respecto al problema de la racionalización de las ecuaciones del electromagnetismo y los sistemas de unidades utilizados para ello, aspecto que sí aprovechará más tarde para criticar la relatividad. En esta edición trata el problema de la diferente formulación de las ecuaciones de Maxwell, con el sistema cegesimal o de Giorgi y con el sistema MKS o de Gauss. En otros textos intentará demostrar Palacios que la elección del sistema de Gauss es errónea dimensionalmente y que el sistema correcto, el de Giorgi, es incompatible con el principio de relatividad. Pero de esto todavía no habla aquí, sólo avisa que “No es aventurado afirmar que si Lorente no hubiese adoptado en mala hora el sistema de Gauss tendríamos una teoría de relatividad libre de las paradojas que aparecen en la teoría de Einstein y que, muy probablemente, habría contribuido mucho más eficazmente al progreso científico”.<sup>43</sup> En definitiva, a pesar de que las fechas son coincidentes con sus trabajos ya rotundamente antirrelativistas, en *Análisis Dimensional*, está bastante matizada su postura al respecto. Esta situación puede resultar significativa porque esta obra sí tuvo un cierto impacto internacional, publicándose ediciones en inglés y francés, y es posible que Palacios, consciente de su posición incómoda respecto a la nueva física no quisiera comprometer el éxito de su obra más prestigiada fuera de nuestras fronteras. Todo esto se tratará en profundidad en el apartado 4.4.3 “Las claves temáticas”.

La edición francesa de 1960 es exactamente igual a la primera edición española y la edición inglesa de 1964 incluye un avance resumido de los cambios que introdujo en la 2ª edición española, en definitiva es prácticamente igual que la edición española de 1964, aunque el tratamiento sobre la racionalización de las ecuaciones de Maxwell es más sintético.

El último de los libros, *Relatividad. Una nueva teoría* (1960), es la culminación de toda una serie de artículos desde 1955 a 1959. De hecho, prácticamente es igual a la serie que publicó en cuatro números a lo largo de 1957 en la *Rev. R. Academia de Ciencias de Madrid* con el título “Revisión de la teoría de la relatividad”, aunque añadió unos apartados cruciales para entender su planteamiento, dedicados al postulado de covarianza, las cantidades y sus medidas, influencia del movimiento sobre las

---

<sup>42</sup> Palacios, *Ibidem*, p. 229.

<sup>43</sup> J. Palacios, *Análisis Dimensional*, 2ª ed. 1964, p. 213.

constantes universales y uno con título de clara intencionalidad a modo de conclusión, “Rehabilitación de Newton”. Este libro supone no sólo la refutación de la teoría einsteniana, sino el intento de construir una teoría de relatividad alternativa salvando las concepciones absolutas del tiempo y el espacio. Aunque en escritos posteriores desarrolla otros aspectos de crítica a la relatividad, esta obra, basada en los textos de 1957, supone la primera exposición completa y sistemática de su teoría.

Se puede consultar en la bibliografía la relación completa de escritos científicos, que incluye artículos en revistas especializadas, otras de carácter filosófico y conferencias publicadas en medios similares,<sup>44</sup> en total más de sesenta.

Como se puede comprobar, el trabajo de Palacios en estos años es impresionante, aunque también es verdad que unos pocos son repeticiones de aparecidos en otro medio y en muchos también incluía textos prácticamente iguales a los de otros escritos publicados con anterioridad. Los primeros escritos donde plantea dudas sobre la relatividad es “Lenguaje de la Física y su peculiar filosofía” en 1953 y en *Physicalia*, el boletín de la Asociación Nacional de Físicos de España, en el nº de Abril-Junio de 1955. Pero donde desarrolló su progresiva crítica a la relatividad y su teoría alternativa fue fundamentalmente en la *Revista de la Real Academia de Ciencias de Madrid*, donde publicó más de 20 artículos. Algunos de ellos extensísimos, que fueron exposiciones sistemáticas y completas, como el de 1957 “Revisión de la teoría de la relatividad” publicado a lo largo de cuatro números de la revista y que fue la base de su libro de 1960, o el de 1968 “La nueva dinámica antirrelativista”, a su vez base del libro inédito *Relatividad y Antirrelatividad*. Evidentemente, esta gran facilidad para ver publicados sus escritos tenía relación con el hecho de que fuera presidente de la *Real Academia de Ciencias de Madrid*.

En cambio llama la atención que en la principal revista de Física, los *Anales* sólo publicó cuatro artículos, en contraposición a la gran cantidad aparecidos en el mismo medio en los años 20 y 30 sobre física experimental. Además, dos de estos artículos son iguales que los de respectivos títulos aparecidos en la *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid* pero en inglés.

---

<sup>44</sup> Casi toda esta relación se ha extraído del libro de González de Posada *Julio Palacios: físico español, aragonés ilustre* (Madrid, 1993), en el apartado “La obra escrita de Julio Palacios” (p. 33 a 53) donde el autor aclara que ha sido recopilada por F.A. González Redondo, con la colaboración de M<sup>a</sup> D. Redondo Alvarado y M.A. González San José. Aunque esta recopilación citada es de gran mérito, en cuanto a los escritos de Palacios sobre relatividad, he encontrado algunos no citados en el libro de González de Posada, son los siguientes: “Temperatura, filosofía operacional y realismo ingenuo”, *Theoria* 1955; “La crisis de la teoría de la relatividad”, *Actas de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Argentina (ANCEFN)*, 15, 43-54, 1960; “Spot the fallacy”, *Electronics and Power*, Jul 1965. En la relación de González de Posada aparecía un artículo con el nombre “Kritik und Fortbildung der Relativitätstheorie”, publicado en *Akad. Druck-U. Verl. Graz. Austria*, 2, 207-213, 1962. Realmente el artículo de Palacios se denominaba “Das Uhren-Paradoxon in der allgemeinen Relativitätstheorie” y apareció en una obra colectiva, editada por Karl Sapper, con el nombre citado por González. Este escrito de Palacios es el mismo que el aparecido con el nombre “La paradoja de los relojes en la teoría general de la relatividad” (*R. Acad. Ciencias Madrid*, vol 53, 1959). La referencia citada por González, *¿Existe el éter?*, es de Universidad Internacional Menéndez Pelayo en 1962, que no he encontrado, pero sí un artículo con el mismo título aparecido en *Crisis, Revista Española de Filosofía*, Madrid, Nº 29-32, p 379 a 412, 1961, que es el que cito en este trabajo.

Otros medios científicos fueron la revista de la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, con dos artículos y la Revista *INE (Instituto Nacional de Electrónica)*.

Algunos artículos sueltos aparecieron en revistas de contenido filosófico, como *Arbor*, *Atlántida* y *Crisis* y otros eran publicaciones de conferencias suyas (aspecto en lo que se prodigó muchísimo en estos años en los que ya estaba jubilado), como las reflejadas en los volúmenes de las “Reuniones de aproximación Filosófico-Científica” organizadas por la *Institución Fernando el Católico* o las correspondientes al *Ateneo de Madrid*.

De la extensa relación de escritos de Julio Palacios, tienen un indudable interés las aparecidas en medios extranjeros, por lo que esto suponía de posible impacto de su pensamiento. Como se puede comprobar son escasos, algo de lo que se quejaría con cierta “amargura”. En *Nuevo Cimento*, el medio de la Sociedad Italiana de Física, publicó dos, aunque uno relacionado con el problema de las constantes universales y sin crítica a la relatividad. En *Electronics & Power* también publicó pero en el marco de una polémica entablada sobre la relatividad entre varios colaboradores habituales de la revista. Otra contribución interesante de Palacios fue su colaboración en un libro colectivo de Karl Sapper, *Kritik und Fortbildung der Relativitätstheorie*, de 1962, reproduciendo uno de sus escritos publicados en España. Por último se publicaron varios artículos en los *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de Argentina* y sendos artículos suyos en el *Boletín de la Academia de Ciencias de Lisboa* y en el *Boletín de la Academia de Ciencias de Argentina*, que eran repetición de otros ya aparecidos en nuestro país.

Otros textos que conviene destacar son los que suponían una polémica, bien por contestación directa de Palacios o por participación en debates ya establecidos en alguna revista. Al respecto los más destacados son los aparecidos en la *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid* en contestación a Ortiz Fornaguera. Este aspecto se trata en profundidad en el apartado 4.7, “Los debates en torno a la relatividad”.

De un análisis cronológico de los escritos se puede comprobar la evolución del pensamiento de Palacios y su progresiva radicalización.

Los autores que han escrito sobre Palacios (Sellés y González de Posada)<sup>45</sup> coinciden en señalar el artículo de 1955 en *Physicalia* como el origen de su crítica a la relatividad. En mi opinión, ya aparecen indicios claros de su postura en su discurso de recepción en la *Real Academia Española* en 1953. Conviene pues repasar los artículos anteriores para ver si ya se podía intuir su posterior posición. De los escritos anteriores a 1953 sólo se pueden destacar algunas dificultades planteadas por Palacios en cuestiones dimensionales relacionados con la relatividad, pero no una crítica a ésta.

A continuación se describe una breve síntesis de los trabajos de Palacios, agrupando aquellos que aportan un tipo de información similar y destacando los que presentan alguna novedad importante en su pensamiento.

---

<sup>45</sup> González de Posada, *Julio Palacios, Físico español, aragonés ilustre*, Madrid (1994), p. 129 y Manuel A. Sellés “Espacio y tiempo en la teoría de la relatividad de Julio Palacios”, *Asclepio*, 1982. p. 224.

El primero, de 1914 y todavía muy joven, es una reseña de un artículo sobre relatividad, seguramente un encargo de Blas Cabrera, por lo que no es significativo. Recordemos que Palacios se especializaría en Física de bajas temperaturas. En los otros dos de los años 30 no se intuye ningún indicio de separarse de la ortodoxia relativista. Al estudiar la evolución de los textos de Palacios una pregunta pertinente es ¿por qué Palacios tardó tanto, respecto a su trayectoria como físico, en empezar a criticar la relatividad?. Esta interesante cuestión, que sin duda está relacionada con estos primeros escritos, se aborda en el apartado 4.4.4.

El publicado en 1955 en *Physicalia*, junto con el discurso de 1953 en la *Academia de la Lengua*, es el primer artículo donde cuestiona la relatividad por los problemas que implica en la formación de una imagen intuitiva de la realidad física. Aun con esto todavía es ambiguo ya que acepta tanto el aspecto puramente físico de la relatividad y su “envoltura matemática” pero plantea un problema de comprensión de la misma. En este sentido, resulta interesante el artículo “Temperatura, filosofía operacional y realismo ingenuo” (1955) ya que aunque no habla nada de relatividad sí defiende su postura asociada a lo que él mismo denominaba “realismo ingenuo”.

El primer artículo que publica en la *Revista de la Real Academia de Ciencias de Madrid* que supone crítica a Einstein es “Revisión de los fundamentos de la Teoría de la relatividad”, (1956) e inicia su larga serie de escritos en la Academia, de la que era presidente. Se hace eco de la polémica entre Dingle y McRea en la revista *Nature* en 1956 sobre la paradoja de los relojes, por la que se constata las contradicciones lógicas de la teoría einsteniana. Para evitar esta inconsistencia, Palacios plantea unas nuevas ecuaciones de transformación. Es el primer texto donde propone sus ecuaciones pero todavía no extrae conclusiones determinantes. Éstas, con todo el desarrollo asociado y que supone su primera exposición completa y sistemática de su teoría alternativa, aparecen en el extenso artículo denominado “Revisión de la Teoría de la relatividad”, publicado a lo largo de cuatro números de la *Revista de la Academia de Ciencias* durante 1957, y que en su fundamento es la síntesis de su teoría que he descrito en el apartado anterior. Este trabajo, a su vez, es la base de su libro de 1960.

Pero antes impartió una conferencia en la reunión semestral de la *Real Sociedad de Física y Química* en Noviembre de 1956, que aparecería publicada en sus *Anales* en 1957, donde presenta sus conclusiones más importantes que se desarrollarían en el texto de 1957. Se denominó “¿Se debe revisar la Teoría de la relatividad?”. En mi opinión este artículo quizá sea el más importante en la trayectoria inicial de Palacios contra la relatividad, por ser publicado precisamente en el órgano de difusión de los físicos españoles, donde sólo publicaría dos artículos más sobre relatividad, en 1960 y 1964, lo que contrasta con la, quizá excesiva, publicación en la *Academia de Ciencias*, con más de 20 escritos. Las principales ideas de este conjunto de trabajos de 1957 se tratan más adelante en los correspondientes epígrafes del apartado sobre “las claves temáticas”.

Por estas fechas publica “Las constantes universales de la Física” en *Il Nuovo Cimento* (1957), donde trata el problema dimensional asociado a las constantes dimensionales y que está relacionado indirectamente con la relatividad, aunque no se deduce una crítica directa a la misma.

También publicó en el medio de difusión de la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, que supone uno de los mejores resúmenes de su teoría, “Ensayo de una nueva teoría de la relatividad” (1958). Sólo aporta la novedad, que podría ser significativa para su posterior desprestigio en la comunidad de físicos, de empezar a realizar un uso inadecuado de razonamientos críticos, relacionándolos con cuestiones políticas e incluso confundiendo la relatividad general con el intento posterior de Einstein de la Teoría del Campo Unificado. Este aspecto se verá en detalle en el apartado 4.4.4 “La ‘cruzada’ antirrelativista de Palacios”, donde se analiza su progresiva radicalización y consiguiente aislamiento científico.

En “Problemas suscitados por la racionalización de las ecuaciones del electromagnetismo” *INE* (1958) y “Carácter peculiar de las ecuaciones de la Geometría y de la Física” *Physicalia* (1959) vuelve sobre el problema dimensional, que se analiza en profundidad en el apartado de claves temáticas.

El escrito “El espacio y el tiempo en la teoría de Einstein” (1959) corresponde a una conferencia de Julio Palacios en la “Segunda reunión de aproximación filosófico-científica”. El *Instituto Fernando el Católico* de Zaragoza organizó un ciclo de conferencias multidisciplinarias de interés filosófico y científico. El de 1958 trató sobre el espacio y en 1959 sobre la materia. Los temas tratados se hacían desde el punto de vista de la filosofía, la terminología y etimología, la física, la química y la biología. Estos encuentros se recogieron en sendos libros publicados por dicho instituto bajo el auspicio del CSIC. Julio Palacios participó en dos de ellos, el primero con la conferencia citada, el segundo sobre la materia, donde exponía sus ideas al respecto relacionadas con la relatividad, en concreto la relación entre masa y energía.

En “La paradoja de los relojes en la teoría general de la relatividad” (1959) realiza una extensión en profundidad de la parte dedicada a la paradoja de los relojes en el texto de 1957. Realmente este artículo es la base, prácticamente idéntico, al mismo apartado del libro de 1960. En el apartado sobre “las claves temáticas”, en el epígrafe correspondiente a la paradoja de los relojes se puede ver en detalle este tema. Publicó similares artículos sobre el mismo tema en 1959, 1961, 1962 y 1964.

El artículo “Los postulados de la nueva teoría de la relatividad”, esta vez aparecido en *Anales* en 1960 (aunque también se publicó el mismo pero en inglés en la *Revista de la Academia de Ciencias de Madrid*) destaca porque intenta demostrar que es posible construir una nueva teoría de la relatividad basada en dos postulados sobre la inercia de la energía y la contracción de los cuerpos según sus propias transformaciones. También es significativo este artículo porque empieza su intento de recuperación de la idea del éter, aspecto que también se tratará en profundidad más adelante.

En “The invariance of the velocity of light” (*Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1960) intenta demostrar que la invarianza de la velocidad de la luz no es una ley de la Naturaleza, sino consecuencia de la posibilidad de sincronizar relojes entre sistemas inerciales que a su vez es gracias a la contracción de cuerpos en movimiento. En 1964 prácticamente reprodujo el mismo artículo en francés en los *Anales de la R. Soc. Esp. Física y Quím.*

En “The newtonian law of gravitation in the theory of relativity” (*Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1961) demuestra que la ley de la gravitación newtoniana no puede ser covariante respecto a las transformaciones de Lorentz. También plantea una prueba experimental, aunque realmente seudoteórica ya que no propone la forma de realizarla, para hallar la dirección y velocidad con que se mueve la tierra respecto al éter fijo.

A partir de 1961 colaboró en revistas de contenido cultural o filosófico, sin manejar formalismos matemáticos, como *Arbor* (una revista de información sobre temas culturales y científicos publicada por el CSIC), *Atlántida* (revista de temas culturales y de inspiración religiosa), *Crisis* (Revista Española de Filosofía), así como varias entradas en la enciclopedia *Durvan*. En este tipo de artículos se constata la progresiva radicalización de Palacios.

A partir de 1963, en varios trabajos vuelve a insistir en el problema de la axiomática y en formular postulados para su teoría de forma poco unívoca, con variación de los mismos, con lo que introducía más confusión al respecto.

En dos artículos trató en profundidad el experimento de Kantor que parecía refutar la relatividad einsteniana. Son “Óptica de los cuerpos en movimiento. Comentarios al experimento de Kantor.” (*R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1963), y “Propagación de la luz en sistemas inerciales móviles” (*INE*, 1964 y 1965). Este experimento fue muy sonado y Palacios lo explotó de forma contundente en contra de la relatividad. Por su importancia, que implicó un cierto debate en la revista *INE* se trata en detalle en un epígrafe específico del apartado dedicado a las claves temáticas en el pensamiento de Palacios.

También se trata en otro apartado, el 4.8, la polémica con Ortiz Fornaguera, que se refleja en los artículos “Sobre una nueva teoría de la relatividad. Réplica del artículo del Sr. Ortiz Fornaguera” (*Rev.R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1964) y “La axiomática relativista. Réplica a los comentarios del Sr. Ortiz Fonaguera” (*Rev.R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1965). Este artículo le valió para impartir una conferencia en el Ateneo que posteriormente salió publicado como “La axiomática relativista” (*Editores Nacional. Colección Ateneo*, 1966). También analizo más adelante sus escritos en la revista inglesa *Electronics and Power*, que formaron parte de una polémica interesante con un científico americano, así como el que se produjo con Romain en *Il Nuovo Cimento*.

En 1965, en el trabajo “The Transformations Laws in Relativity” introduce una importante novedad en la evolución de su pensamiento, a saber: su defensa de que no se puede sostener la covarianza de algunas leyes fundamentales, como las de la dinámica. Entraba así en contradicción con escritos suyos de años anteriores y supone otra vuelta de tuerca más en su proceso de radicalización, que se desarrolla en los siguientes artículos, de nuevo extensos y profundos, “Dinámica Relativista” e “Inercia y gravitación. Estudio crítico de la teoría general de la relatividad” (los dos en *Rev.R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1965). El primero destaca porque intenta demostrar que la idea de asociar inercia a la energía ya estaba intrínseca en la teoría de Maxwell y que incluso es incompatible con el principio de relatividad. En el segundo desarrolla su propia teoría de la gravitación. Esta radicalización continúa con su defensa de la geometría euclídea en “Métrica, metrología y geometría” en 1967, concluyendo con un

artículo de título impactante “La nueva dinámica antirrelativista”, aparecido en 1968, donde por primera vez define su teoría como “antirrelativista”.

Los dos últimos artículos, ya en 1969, en realidad son prácticamente el mismo: “Incompatibilidad del principio de homogeneidad física con la teoría de la relatividad” e “Incompatibility of the theory of relativity with Giorgi's system of units”. Son un intento de demostrar la invalidez del principio de relatividad con el sistema de unidades de Giorgi, que es el único que salva el principio de homogeneidad dimensional. Un tratamiento similar lo realizó en varios artículos anteriores, pero estos compendian su posicionamiento respecto al asunto en cuestión.

Palacios llevó su “campaña” antirrelativista incluso a la prensa diaria, con bastantes artículos en *ABC* desde 1955 hasta 1968. Esta es una de sus facetas donde se mostró más radical en sus planteamientos. Se trata en el apartado 4.4.4 “La cruzada antirrelativista de Palacios”.

Como parte de su continuada crítica a la relatividad einsteniana, existen trabajos de otros autores, mayoritariamente extranjeros y también antirrelativistas, en los que Palacios colaboró de alguna manera, bien siendo el responsable de la publicación de los mismos en medios nacionales, especialmente la *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, presentando a sus autores o bien dirigiéndolos. Por último dirigió una tesis doctoral a Antonio Herranz sobre su propia teoría de la relatividad. Estas contribuciones se analizan en el apartado 4.11 dedicado a las publicaciones en España de científicos extranjeros. Las de autores españoles con posiciones ambiguas o antirrelativistas, se tratan igualmente en el apartado 4.7.

#### 4.4.3. LAS CLAVES TEMÁTICAS EN EL PENSAMIENTO DE PALACIOS.

Anteriormente he presentado una síntesis de la teoría alternativa de Palacios como si hubiera sido elaborada de forma compacta y coherente. Como se ha indicado, realmente no fue así, sino que su teoría fue evolucionando con el tiempo y llegando a conclusiones a veces contradictorias con otras previas. He realizado esta síntesis con la intención de proporcionar una visión de conjunto, sin incluir interpretaciones o valoraciones subjetivas, para facilitar así el seguimiento de este trabajo. En el presente apartado se desarrollan y analizan en profundidad una serie de temas que son clave en la teoría alternativa de Palacios, con la evolución en sus argumentos, aportando también mi interpretación personal sobre los mismos. Se insertan selecciones de textos originales de Palacios que pueden resultar significativos y ejemplifican algunas de las inconsistencias encontradas. Los temas considerados aquí como claves en el pensamiento de Palacios se refieren al terreno exclusivamente científico. Un aspecto fundamental en Palacios como es su posicionamiento epistemológico basado en su idea de la Física intuitiva y en el realismo, que el mismo caracterizaba de “ingenuo”, se trata en el apartado 4.4.4, donde se analizan los motivos de Palacios en su búsqueda de una teoría alternativa de la relatividad.

Los temas que he considerado como claves en el pensamiento de Palacios, y que se desarrollan en los sucesivos epígrafes, son los siguientes:

- Las nuevas ecuaciones de transformación entre sistemas de referencia.
- La paradoja de los relojes.
- El espacio y la geometría
- Constantes de la Naturaleza. Variación de la constante de Planck. La velocidad de la luz.
- La dinámica relativista en la teoría de Palacios.
- Masa inercial y masa gravitatoria.
- Teoría de la Gravitación.
- Intento de recuperación de las acciones a distancia y el éter.
- El uso del experimento de Kantor de 1962, inicialmente interpretable como contrario a la relatividad.
- Electromagnetismo y relatividad: La influencia del Análisis Dimensional.

*Las nuevas ecuaciones de transformación entre sistemas de referencia inerciales.*

Para Palacios, las transformaciones de Lorentz, además de incluir la inconsistencia lógica que da lugar a la paradoja de los relojes, tienen implícitas otro problema crucial, el de la sincronización de relojes situados en diferentes sistemas de referencia, sincronización imposible si se aplican dichos sistemas de ecuaciones.

Como hemos visto en la síntesis, para obtener las nuevas ecuaciones de transformación, Palacios elimina el axioma relativo a la equivalencia de los sistemas inerciales. Partiendo de la condición de que se debe mantener la ecuación de una onda esférica en ambos sistemas, S y S', (condición que se deduce del postulado, que sí admite, de la igualdad de la velocidad de la luz para todos los sistemas inerciales) obtiene el siguiente grupo de transformaciones:<sup>46</sup>

$$x = \rho/\alpha (x' + vt'); \quad \text{siendo } \alpha = \sqrt{1 - v^2 / c^2}$$

$$y = \rho y';$$

$$z = \rho z';$$

$$t = \rho/\alpha (t' + vx'/c^2).$$

siendo  $\rho$  una constante indeterminada. En la teoría de Einstein, por la condición de que los sistemas S y S' son equivalentes, esta constante adquiere el valor  $\rho=1$ , pero eliminando esta condición con el desarrollo de las ecuaciones se obtiene  $\rho=\alpha$ .

Las transformaciones generales que incluyen ambas teorías, la de Einstein y la de Palacios, se pueden expresar de la forma

$$x = \alpha^{\eta-1} (x' + vt');$$

$$y = \alpha^{\eta} y';$$

---

<sup>46</sup> Palacios, *Relatividad. Una nueva teoría*, Espasa Calpe, 1960, p. 67 a 69.



$$z = \alpha^n z';$$

$$t = \alpha^{n-1} (t' + vx'/c^2).$$

Las inversas serían

$$x' = \alpha^{-n-1} (x - vt);$$

$$y' = \alpha^{-n} y;$$

$$z' = \alpha^{-n} z;$$

$$t' = \alpha^{-n-1} (t - vx/c^2).$$

con  $n=0$  queda la teoría de Einstein y con  $n=1$  la de Palacios, que son las ecuaciones [2.1] y [2.2] que aparecen en el apartado 4.4.1 "Síntesis de la teoría de Palacios".

Con estas nuevas transformaciones, Palacios defiende que se llegan a las mismas conclusiones mecánicas que con las de Einstein, pero sin las implicaciones acerca de la cronometría y geometría del espacio. Repasemos las consecuencias de las transformaciones de Palacios.

Se comprueba fácilmente que ahora  $t_2 - t_1 = t'_2 - t'_1$ , con lo que se evita la paradoja de los relojes. De todas formas, se mantiene el carácter relativo de la simultaneidad, demostrándose que dos sucesos simultáneos en S, en general no lo son en S', pero la duración de un fenómeno sí se mantiene constante entre los dos sistemas de referencia. A pesar de mantenerse la relatividad de la simultaneidad, Palacios razona que el contraste entre los relojes puede hacerse desde el sistema en reposo, es decir, se puede ajustar la marcha de todos los relojes, tanto fijos como móviles, de modo que todos estén sincronizados en cualquier momento con un reloj patrón. Palacios concluye que

...los resultados pueden interpretarse como si todas las duraciones experimentasen a causa del movimiento absoluto una *disminución real*, a la que se superpone un *aumento aparente* debido al movimiento relativo de ambos sistemas. Tanto la disminución como el aumento están dados por el factor  $\alpha$ ,  $[(1-v^2/c^2)^{1/2}]$ .<sup>47</sup>

Con estas transformaciones, Palacios deduce que ahora el intervalo entre sucesos (considerando tanto el espacio como el tiempo, es decir  $x^2 - c^2 t^2$ ) ya no es invariante, sino que lo que se conserva es la duración de cualquier fenómeno físico. Aprovecha esta conclusión para descartar el planteamiento de Minkowski en el que

La teoría de Einstein pasó a ser una cronogeometría en un espacio de cuatro dimensiones con una métrica definida por el intervalo (entre sucesos) y en la que las fórmulas de Lorentz se interpretan como una rotación definida por una matriz unitaria [...]

Las rotundas afirmaciones de Minkowski no se acomodan a los hechos, pues la experiencia física a que se refiere es el experimento de Michelson y Morley, para cuya realización no fue preciso emplear reloj ninguno, por

---

<sup>47</sup> Palacios, *Relatividad. Una nueva teoría*, 1960, p. 74.

lo que puede decirse que el tiempo estaba ausente, y no es legítimo sacar consecuencias acerca de su comportamiento.<sup>48</sup>

En mi opinión, esta interpretación de Palacios no es correcta, ya que al intentar medir velocidades, de forma implícita sí se está considerado el tiempo.

En lo relativo al espacio se infieren dos conclusiones importantes de las nuevas ecuaciones de transformación: la posibilidad de identificar un sistema en reposo absoluto y la contracción de los sólidos en movimiento, que en la nueva teoría difiere sustancialmente de la de Einstein. Así Palacios afirma:

En la teoría einsteniana la noción de espacio absoluto carece de sentido, porque se afirma la imposibilidad de que haya en él algo observable que lo distinga de los demás sistemas inerciales. Decir que existe o no un sistema en reposo absoluto pasa a ser una de esas proposiciones de las que no puede decirse que sean ciertas o falsas, por la carencia completa de información. Todo esto se traduce en el hecho de haber simetría entre las fórmulas de Lorentz directas y las inversas.

En las nuevas fórmulas de transformación no hay ya tal simetría, lo que indica que el sistema S, el que hemos supuesto en reposo, ha de poseer algún rasgo característico, reconocible experimentalmente para ponerlo de manifiesto, recordemos que, por efecto del movimiento, se contraen los sólidos, y que esta contracción puede descomponerse en dos partes: una contracción homogénea que puede calificarse de real porque es igualmente apreciada desde el sistema fijo y desde el sistema móvil, y otra, que sólo afecta a las dimensiones paralelas al movimiento de la que puede decirse que es aparente porque procede de ser distinto el criterio de simultaneidad.

Si nos atenemos a las dimensiones perpendiculares al movimiento, deberá suceder que experimenten una contracción real tal, que si  $r_0$  es su medida cuando el cuerpo estaba en reposo absoluto, se conviertan en  $r = r_0 (1 - v^2/c^2)$  cuando el cuerpo se mueva con la velocidad  $v$ . Este cambio de dimensiones ha de atribuirse a los cambios que experimenta la velocidad del cuerpo cuando pasa del sistema en reposo al sistema móvil, de donde se infiere que *todo cuerpo tiene su tamaño máximo cuando forma parte de un sistema que nunca ha sido acelerado. Diremos que un sistema está en reposo absoluto cuando nunca ha sido acelerado, o cuando ha sufrido aceleraciones iguales y contrarias...*

Si hubiera varios de estos sistemas, serían indiscernibles, y de cualquiera de ellos podría decirse que estaba en reposo absoluto. Para fijar las ideas, podemos suponer que existe uno solo, solidario del lugar en que fue creado el universo, y que, en virtud de las leyes de la Mecánica, es solidario de su centro de masa.

Las precedentes consideraciones permiten idear un experimento para averiguar por vía operacional la velocidad *absoluta* del sistema de que formamos parte. Dispárese una esfera contra un blanco situado perpendicularmente a la trayectoria del proyectil y médase el radio de la

---

<sup>48</sup> *Ibídem*, p. 81.

perforación producida. Repítase el experimento cambiando la dirección y la velocidad del proyectil hasta obtener el valor máximo para dicho radio. Esta velocidad, cambiada de signo, sería nuestra velocidad absoluta.<sup>49</sup>

En definitiva, se recupera la posibilidad, aunque sea teórica, de distinguir un sistema en reposo absoluto. Palacios propone un experimento para detectar la velocidad absoluta respecto de un sistema en reposo absoluto, pero lo hace de forma muy poco convincente, sin concretar cómo se ejecutaría y, además, los efectos serían inobservables.

En cuanto a la contracción de los cuerpos, a diferencia de la teoría einsteniana donde sólo se contraían las dimensiones longitudinales, sin más que desarrollar las nuevas ecuaciones de transformación se obtiene que las dimensiones longitudinales se acortan en la proporción  $\alpha^2$  y las transversales en la proporción  $\alpha$ . De esta forma, por efecto del movimiento una esfera se convertiría en un elipsoide achatado, ya que las dimensiones longitudinales se contraen más que las transversales.

Uno de los aspectos fundamentales en relatividad restringida es la ley de composición de velocidades. Aplicando sus transformaciones a la composición de velocidades, obtiene Palacios un resultado para las transformaciones de las velocidades que es idéntico a la composición relativista bajo las transformaciones de Lorentz, con lo que en la nueva teoría sí se mantiene el límite de la velocidad de la luz.<sup>50</sup>

Conviene aquí hacer un receso sobre la denominación de “nuevas” ecuaciones de transformación. Palacios, en mi opinión, parece sincero al considerar sus ecuaciones como nuevas, pero en realidad son formalmente equivalentes a unas ecuaciones planteadas por Voigt en 1887, consideradas a su vez como precursoras de las de Lorentz. Por lo tanto resulta adecuado aplicar la denominación de transformaciones de Voigt-Palacios a las propuestas por el físico español como alternativa a las de Lorentz-Einstein.<sup>51</sup>

Unos años después de presentar sus ecuaciones de transformación, Palacios se apoyó en un experimento de Kantor que parecía refutar la relatividad, ya que según los resultados obtenidos, se concluía que la velocidad de la luz dependía de la fuente del emisor.<sup>52</sup> Con ello no sólo se invalidaba la base para las transformaciones de Lorentz, sino que también se refutaba la ley de composición de velocidades. Palacios usó este experimento para insistir en que “la relatividad había muerto”. Pero en ningún momento quiso aclarar que sus ecuaciones de transformación también se invalidaban, ya que partían del postulado de la invariancia de  $c$  y que por tanto también se

<sup>49</sup> *Relatividad. Una nueva teoría*. 1960, p. 84 y 85.

<sup>50</sup> Puede seguirse la demostración en *Relatividad. Una nueva teoría*. 1960, p. 89 a 91.

<sup>51</sup> Debo esta apreciación al texto de Ángel Luis López Ramos *Teorías de la relatividad del Movimiento uniforme*. Universidad de Oviedo, 1998, p. 103, donde plantea esta similitud al hablar de la teoría de Palacios. Sobre el origen de las transformaciones de Lorentz, incluyendo las de Voigt, se trata en Pais, *El Sr es sutil. La Ciencia y la vida de Albert Einstein*. El artículo original de Voigt es "Ueber das Doppler'sche Prinzip", *Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften*, Göttingen, Marzo 1887, p 41.

<sup>52</sup> Palacios, "Óptica de los cuerpos en movimiento. Comentarios al experimento de Kantor", *R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1963.

invalidaba su ley de composición de velocidades, que era igual a la de Einstein. Este es uno de los ejemplos de la inconsistencia de la teoría alternativa de Palacios, vista a lo largo del tiempo. Es curioso que el mismo Palacios había demostrado en 1957 que se llega a estas ecuaciones de composición de velocidades tanto con las transformaciones de Lorentz como con las suyas, con lo que sin saberlo parece dar la razón a Ortiz Fornaguera cuando dice

...si el sistema de postulados de Einstein está libre de contradicción interna, también lo está el de Palacios. Pero claro está, el recíproco también es cierto y si llegara a descubrirse una contradicción lógica en la teoría einsteniana, automáticamente quedaría de manifiesto una contradicción lógica en la de Palacios.<sup>53</sup>

Este aspecto sobre el uso por Palacios del experimento de Kantor se trata con profundidad más adelante.

Otras conclusiones de las nuevas ecuaciones de transformación afectan al campo de la óptica relativista como son el efecto Doppler, la longitud de onda y la frecuencia de la luz en un medio en movimiento<sup>54</sup>. El efecto Doppler relativista previsto por la teoría de Einstein, viene dado por la variación de la frecuencia de un haz luminoso en movimiento según la expresión

$$\nu = \frac{\nu'_0 \alpha}{1 + \frac{v}{c} \cos \theta}, \text{ donde } \nu \text{ es la frecuencia, } v \text{ la velocidad, el denominador es el factor}$$

correspondiente al efecto Doppler clásico y el numerador al efecto relativista, que viene dado por  $\alpha = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

En cambio, para la nueva teoría de Palacios, el efecto Doppler, aplicando las transformaciones correspondientes, queda de la forma

$$\nu = \frac{\nu'_0}{1 + \frac{v}{c} \cos \theta}, \text{ que coincide con la clásica.}$$

Palacios desarrolló la variación de la longitud de onda medida en diferentes sistemas de referencia, demostrando que dicho estudio es compatible con las ecuaciones de transformación de Lorentz. Pero, partiendo de sus propias ecuaciones de transformación, también obtiene la misma fórmula para la frecuencia medida en el sistema S, por lo que esta coincidencia implicaría la ratificación de su teoría. Aplicando las dos teorías (la de Einstein y la suya, a la que llama la nueva), para el caso de un espejo móvil, se obtiene la misma fórmula de relación entre las longitudes de onda medidas.

<sup>53</sup> En su artículo "Comentarios a dos recientes artículos de J. Palacios" 1965 v.59, p. 439.

<sup>54</sup> En el capítulo del libro *Relatividad. Una Nueva Teoría* dedicado a la Óptica relativista se explica la experiencia de Ives y Stinwell, aparecida en *Journ. Opt. Soc. Am.* en 1938, sobre el efecto Doppler, que se consideró como base experimental de la corrección relativista del efecto Doppler.

La única diferencia, pero muy significativa en mi opinión por la trascendencia de la misma, es la aplicación de las nuevas transformaciones a la energía asociada a un fotón, en la que ahora, con la nueva teoría, la constante de Planck cambia con el factor alfa, explicando así el corrimiento al rojo detectado por Ives y Stilwell. Hemos de notar que Palacios no parece captar el principio revolucionario que supondría en la ciencia esta variación de la constante de Planck. Por la importancia de este aspecto se trata más adelante en detalle en un epígrafe específico dedicado a las Constantes de la Naturaleza.

Palacios también estudió en detalle toda la teoría del espacio de Minkowski y el significado de las transformaciones de Lorentz como rotaciones en el sistema minkowskiano, que forman un grupo. Pero aplicando el mismo análisis a sus ecuaciones, demuestra que su sistema de transformación también forman un grupo (es decir que dos aplicaciones sucesivas de la transformada es a su vez una transformada del mismo tipo). También desarrolló en notación tensorial la teoría basada en sus ecuaciones de transformación.<sup>55</sup> La referencia al carácter de grupo de sus ecuaciones es importante porque según relató Palacios en años posteriores, algunos científicos de renombre, como Louis de Broglie, le censuraron por correspondencia privada que su sistema no formara un grupo, lo que él intentó rebatir.

### *La paradoja de los relojes*

De las transformaciones de Lorentz se deduce la dilatación del tiempo, pero Palacios destaca que cada observador encuentra que retrasa el reloj del otro, lo que dará lugar a la famosa paradoja de los relojes. También es conocida como de los gemelos pero Palacios adopta la primera terminología, que yo personalmente considero más acertada. El motivo es que el término de paradoja de los gemelos ha motivado un malentendido muy frecuente entre los divulgadores de la relatividad. Muchos creían que la paradoja consistía en que si de dos hermanos gemelos, uno realizaba un viaje espacial a altas velocidades, al volver a la Tierra se encontraba con que su hermano gemelo había envejecido. Realmente ésta no es la paradoja, sino la de que, en principio, por la equivalencia de los sistemas, si cada uno ve que retrasa el reloj del otro, cada hermano vería que su gemelo había envejecido, lo que es imposible. Por lo tanto me parece muy adecuada esta terminología de Palacios.

En sus primeros escritos críticos con Einstein, Palacios planteó la necesidad de unas nuevas ecuaciones de transformación que salvaran la paradoja de los relojes. Trató de forma reiterada, profunda y sistemática dicha paradoja, donde las soluciones conjugadas según cada sistema de referencia daría el absurdo de  $\alpha=1/\alpha$  donde  $\alpha=\sqrt{1-v^2/c^2}$ . Para ello desarrolla matemáticamente todas las ecuaciones, lo que realmente no era necesario. Palacios se posiciona en línea con el profesor Dingle, en su controversia con McRae aparecida en *Nature*. Ante esta paradoja, Palacios refiere que algunos autores creen que sólo tiene solución en el ámbito de la relatividad

---

<sup>55</sup> Palacios, *op.cit*, 1960, Cap. V “Las formulas relativistas en el espacio de cuatro dimensiones”.

general, idea que también rechaza, pero no parece que explique de forma razonada el por qué:

En relatividad general se resuelve la cuestión atribuyendo a los campos gravitatorios determinados efectos sobre la marcha de los relojes y el que sea posible hallar una solución matemática, en el papel, no quiere decir que tenga realidad. Es una solución ficticia y absurda de un problema inexistente. Además, como para llegar a ella hay que atravesar una manigua de cálculos farragosos e inextricables, sería preferible admitir de buenas a primeras que todo ello ocurre por arte de birlibirloque.<sup>56</sup>

En mi opinión este tipo de expresiones, propias del espíritu de algunos textos de los años 20, pudieron dificultar la influencia de Palacios en la comunidad científica en lo respectivo a la relatividad.

Palacios citó los casos de autores que explicaban la paradoja en el ámbito de la relatividad general, como el caso de Tolam en *Relativity, Thermodynamics and Cosmology* (Oxford, 1934) o el de Möller en *The Theory of Relativity* (Oxford, 1952). Palacios rechaza la explicación de estos autores razonando que si se llega al absurdo es que o bien se ha aplicado mal la generalización del principio de relatividad o bien este principio es inválido.

Frente a otros autores que, en el marco de la relatividad especial, intentan explicar la paradoja considerando el viaje de ida y vuelta, Palacios defiende que sólo considerando el viaje de ida se llega a una ecuación matemática imposible, por lo que es suficiente para concluir que la paradoja no tiene solución.

Palacios comentó una noticia en *New York Times* donde se anuncia la comprobación experimental de “la paradoja de los relojes” por Crawford. Hay que indicar que realmente esta comprobación experimental es de la dilatación temporal, por lo que no es del todo riguroso denominarla comprobación de la paradoja de los relojes. La comprobación experimental se refiere a la diferencia en las medidas del flujo de mesones a nivel del mar y a grandes altitudes, así como a la diferencia en el valor de la semivida en reposo respecto a cuando están a velocidades elevadas. Palacios explicaría este hecho con la variación de la constante de Planck medida en diferentes sistemas de referencia, importante conclusión de la teoría de Palacios sobre el que volveremos más adelante.

Una de las características de sus escritos son las referencias que cita y que incluyeron un cierto nivel de debate. Por ejemplo, que la paradoja parece que ha sido explicada con la interpretación de Moller, basada en la relatividad general, y que aparece en su obra *The theory of relativity* (Oxford, 1955). Pero a su vez se hizo eco de un trabajo en *American Journal of Physics* (1957, v 26, p 526) de Leffert y Donahue que discute la anterior interpretación. Vemos que Palacios se apoya en textos publicados en revistas especializadas. También hizo referencias del físico antirrelativista italiano Majorana y recurrentemente reflejó la polémica Dingle-McRea.

---

<sup>56</sup> Palacios, *Relatividad, Nueva Teoría*, p. 60.

Igualmente Palacios realizó una revisión histórica de la paradoja de los relojes, de la que concluye que se crearon tres grupos de opinión respecto a dicha paradoja:<sup>57</sup>

- Los ortodoxos. Mantienen las ecuaciones de Lorentz, la constancia de  $c$  y el principio de relatividad. Unos piensan que la paradoja se puede explicar sin nuevas hipótesis y otros que hay que recurrir a la teoría general de la relatividad.
- Los heterodoxos. Rechazan las transformaciones de Lorentz y por lo tanto la dilatación del tiempo, aunque intentan mantener el principio de relatividad. Palacios los llama "puritanos"<sup>58</sup> porque dice que intentan mantener el principio de relatividad en toda su pureza.
- Los incrédulos. Rechazan el principio de relatividad y la dilatación del tiempo.

Palacios evidentemente se sitúa en el tercero y afirma

... el hecho de que los especialistas pertenecientes a los dos primeros grupos propongan incesantemente nuevas explicaciones de la paradoja y que ninguna satisfaga a todos, induce a pensar que tratan de explicar lo inexplicable.<sup>59</sup>

Sin duda Palacios demuestra estar bien documentado. Refiere un artículo del propio Einstein en 1918 en *Die Naturwissenschaften*, donde Einstein trató la paradoja simulando un diálogo entre un crítico y un relativista, contestando éste que los dos sistemas no son equivalentes porque uno tiene que sufrir una aceleración previa y por lo tanto hay que recurrir a la Teoría General de la Relatividad. En 1922, durante la visita de Einstein a Francia se planteó nuevamente la cuestión, reflejándose en un artículo de la revista *La Nature*. Esta discusión la inició Painlevé. Palacios traduce la respuesta de Einstein que se resume en que el conjunto de dos sistemas no constituyen un sistema inercial. Unos días más tarde Langevin (al que se le ha adjudicado el dar el nombre a la paradoja de los gemelos) plantea que todo se limita a un problema de sincronización entre los relojes de los sistemas y el reajuste de los relojes se debe hacer a mano. Por último, Palacios se remite a otros autores, los argentinos Loedal Palumbo<sup>60</sup> y José Álvarez López<sup>61</sup>, que dan la solución a la paradoja mediante la necesidad de renunciar a medir por separado distancias y duraciones. En realidad, hay que medir distancias entre sucesos, es decir intervalos espacio-temporales, en los que se considera el punto en el espacio y el instante en el tiempo en el que se considera un suceso. En este sentido el problema radica en el uso incorrecto de la sincronización de los relojes, como Palacios nos explica a continuación:

Han pasado más de cuarenta años desde que Langevin hizo notar que los relojes no pueden comportarse automáticamente de acuerdo con las ecuaciones de Lorentz; sus manecillas tienen que recibir un *coup de pousse* cada vez que cambian de sistema inercial, cosa que es ignorada

---

<sup>57</sup> Palacios, "El enigma de la teoría de la relatividad", *Arbor*, 1961.

<sup>58</sup> *sic*, no deja de ser sorprendente ciertas calificaciones de Palacios.

<sup>59</sup> Palacios, "El enigma de la teoría de la relatividad II. La crisis", *Arbor*, 1961, vol.49, p. 291.

<sup>60</sup> Loedal Palumbo. *Rev. Fac. Ciencias La Plata. t 6*, p. 23 (1929).

<sup>61</sup> J. Álvarez López. *The meaning of the clock paradox*. Universidad Católica de Córdoba, Argentina (1959).

por todos los tratadistas. En este artículo se demuestra que muchas de las consecuencias de la teoría de Einstein no corresponden a fenómenos naturales, sino que resultarían del empleo de *relojes amañados*.

La existencia de simultaneidades relativas, una para cada sistema inercial, no proviene de la influencia del movimiento sobre el fluir del tiempo, sino que se debe a una manera artificial de poner en hora los relojes móviles.

Hechos tales como el efecto Doppler transversal y la prolongación de la semivida de los mesones rápidos, que son considerados como comprobaciones experimentales de la teoría de Einstein, prueban, en rigor, la no validez del principio de relatividad.

La paradoja de los relojes es el resultado de una trampa. No hay esperanza de vivir despacio viajando deprisa, o de hallar la fuente de juventud buscada por Ponce de León.<sup>62</sup>

Insistiendo en el mismo problema, Palacios intenta demostrar que las ecuaciones de Lorentz proporcionan tres soluciones para la dilatación del tiempo que son incompatibles entre sí<sup>63</sup>. En mi opinión, el problema surge porque considera, en la paradoja de los relojes, el viaje de ida y vuelta como un mismo evento, cuando realmente hay que considerar dos eventos diferentes con sus correspondientes transformaciones, cuando el viajero realiza el trayecto de ida por un lado, y cuando regresa por otro.

#### *El espacio y la geometría.*

El problema de la geometría del espacio lo trató Palacios de forma dispersa a lo largo de los años. Ya en los años 40, cuando todavía no se había iniciado su crítica a la relatividad, se mostraba incómodo con el Universo de Minkowski, que unificaba el espacio y el tiempo. En la contestación al discurso de recepción de Enrique de Rafael en 1943 en la *Academia de Ciencias* afirma Palacios:

Pero he aquí que en el dominio de la Física surgen cuestiones que obligan a los filósofos a preocuparse seriamente de lo que ocurre en el campo ajeno. Fue primero la teoría de la relatividad al tratar de fundir el espacio y el tiempo en una entidad de orden superior, el universo cuatridimensional, intento que tan acertadamente acaba de refutar nuestro nuevo académico y que no planteaba, en realidad, un problema tan grave como se creyó, ya que en el fondo y aun dando por válidas las escasas pruebas experimentales logradas en apoyo de la teoría de la relatividad generalizada, podemos perfectamente no ver en tal universo cuatridimensional más que una ficción mental que ofrece la curiosa circunstancia de unificar los fenómenos gravitatorios y los electromagnéticos; pero como no hay razón para creer que tal unidad existe realmente, no tenemos tampoco necesidad de mezclar conceptos

<sup>62</sup> Palacios, "The relativistic behaviour of clocks", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 56, 1962, p. 287.

<sup>63</sup> Palacios, "A simple treatment of the clock paradox", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 55, 1961, p197-199.



que, como el espacio y el tiempo presentan diferencias tan marcadas como las que señala el P. de Rafael.<sup>64</sup>

Aquí Palacios comete un claro error, ya que el universo *cuadrimensional* no unificaba los fenómenos gravitatorios y electromagnéticos, aunque ciertamente era un intento de Einstein que, como sabemos, resultó fallido, y en rigor la unificación de dichos fenómenos era una extensión de la relatividad general y no una consecuencia de la propuesta de Minkowski. En cualquier caso, conviene repasar el texto de De Rafael, más aun cuando en los años 20 fue uno de los principales divulgadores de la relatividad. Habla de la forma diferente de percibir la noción de espacio, mediante impresión de los sentidos, y de la del tiempo mediante “nuestra conciencia sucesiva”, de tal forma que la medición del tiempo sólo puede verificarse mediante el movimiento. Insiste De Rafael en aclarar

Pero hay que hacer notar que, salvo el hecho de que el espacio y el tiempo se nos representan continuos, su analogía no va más allá, en contra de lo que ordinariamente suelen hacer filósofos y aun físicos y matemáticos, que quieren comparar y casi identificar el tiempo con un espacio unidimensional, y aun mezclar conceptos en un solo continuo cuatridimensional, al que se designa con el nombre de *Universo*.<sup>65</sup>

Por lo tanto, se comprueba que Palacios ha interpretado erróneamente las palabras del jesuita, quien acierta en denunciar el error de algunos que identifican espacio con tiempo, pero no parece que invalide el planteamiento relativista de un *Universo cuadrimensional*. Ciertamente se presenta ambiguo al no parecerle conveniente el nombre de *Universo*, pero lo que señala De Rafael es el error de identificar el tiempo como una variable espacial sin más. El planteamiento correcto, siguiendo a Einstein, es que el tiempo se puede manejar como una variable más, similar operacionalmente a las variables espaciales, en un espacio-tiempo cuadrimensional, con tres variables espaciales y una temporal. Pero en ningún momento la relatividad postula que el espacio y el tiempo sean sustancialmente iguales, sino operacionalmente equivalentes en cuanto a variables dimensionales. Esta confusión, que sí parece denunciar De Rafael, aunque ciertamente no de forma rotunda, es la que produce el error de Palacios en pensar que aquél refutaba el sistema cuatridimensional. En años posteriores, ya en su época claramente antirrelativista, Palacios manejó este equívoco de forma insistente, indicando que Einstein confundía espacio y tiempo, lo que no es cierto, y se basaba en esta supuesta confusión para utilizarla como argumento contrario a la relatividad.

En su primera exposición completa de 1957 “Revisión de la teoría de la relatividad” (*Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*), Palacios defiende que la correspondencia entre las magnitudes espaciales y las temporales no puede ser completa, como parece deducirse de la relatividad einsteniana. Para insistir en la diferente naturaleza del espacio y tiempo afirma que

---

<sup>64</sup> Palacios, “Contestación al discurso de recepción de Enrique de Rafael <<El valor objetivo de los conocimientos y teorías científicas>>” *R. Acad. Ciencias de Madrid*, Abril 1943.

<sup>65</sup> De Rafael, “El valor objetivo de los conocimientos y teorías científicas” Discurso de recepción, *R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1943, p. 44.

El tiempo transcurre siempre hacia el futuro y no hay manera de alterar su marcha. Tampoco disponemos de artificios que, a manera de lentes ópticas, nos hagan ver aumentadas o disminuidas las duraciones de los fenómenos físicos.<sup>66</sup>

Aquí Palacios usa un tópico muy utilizado entre los antirrelativistas de los años 20, como es achacar a la relatividad que equipare dimensiones espaciales con temporales, lo que no es correcto. Lo que realmente dice la relatividad es que se puede operar de manera unificada con ellas, de forma que se entiendan las transformaciones de Lorentz como una rotación, pero no que sean lo mismo. Veamos las palabras de Palacios al respecto

... pero de una teoría que confunde cosas totalmente distintas, como son el espacio y el tiempo, no puede decirse que dé una mejor idea de la realidad, sino, en todo caso, un aspecto parcial de la misma. El intervalo espacio-tiempo es un complejo de distancia y duración que ha de medirse con un aparato, híbrido de metro y reloj, que dará segundos o metros, según se trate de sucesos paratemporales o paraespaciales. Con la información que se obtiene al medirlo nada puede decirse acerca de lo que sucede por separado a las distancias y a las duraciones. Por eso, a quienes afirman que la paradoja de los relojes desaparece cuando se opera en el espacio-tiempo y que, por ello, es fruto de nuestra incapacidad para intuirlo, hay que replicar que si la teoría de Minkowski es consistente consigo misma, se debe a que, por ser excesivamente angosta, deja fuera hechos fundamentales, entre ellos la referida paradoja.<sup>67</sup>

Pero como ocurrió con diversos temas, Palacios no siempre pensó así. En 1947, en su interesante libro *Esquema físico del mundo*, destacó

... la fusión del espacio y el tiempo en una entidad superior a la que hay que recurrir para comprender el verdadero significado de las magnitudes físicas.<sup>68</sup>

si bien es cierto que, aunque todavía no mostraba crítica a la relatividad, sí relacionaba este hecho con el problema del misterio de la ciencia y de su comprensión:

No cabe ya disfrazar estos hechos en el nombre de axiomas o postulados. Su verdadero nombre es el de misterios, sencillos e incomprensibles, como los misterios religiosos.<sup>69</sup>

Palacios sostiene que la relatividad “en nada se opone a la existencia del espacio y del tiempo absolutos, sino que afirma la imposibilidad de reconocerlos si alguna vez topamos con ellos”.<sup>70</sup> Para ello previamente había demostrado en el mismo artículo que el intervalo  $S$  entre dos sucesos dado por  $x^2+y^2+z^2 -c^2t^2$  es un invariante bajo transformadas de Lorentz pero lo usa para realizar la anterior reflexión. Su idea de mantener la concepción de espacio y tiempo absolutos la justifica en la posibilidad

<sup>66</sup> Palacios, “Revisión de la teoría de la relatividad”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 51, 1957, p 65.

<sup>67</sup> *Ibid* p. 66 y 67.

<sup>68</sup> Palacios, *Esquema físico del mundo*, 1947, p. 7.

<sup>69</sup> *ibid*, p. 7.

<sup>70</sup> Palacios, “Revisión de la teoría de la relatividad”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1957 p. 47.

teórica de situarse en el punto del espacio donde se produjo “la Creación” y en poder medir la edad del mundo. Para él, si consideramos un sistema S inmóvil respecto del origen del universo, podríamos medir la edad del Universo, en definitiva el tiempo propio asociado a ese sistema debe tener un carácter absoluto, ser un invariante.

En 1961 publica un artículo, “Métrica, metrología y geometría”<sup>71</sup>, en el que intenta dar consistencia a su idea sobre el espacio. Realiza una reflexión sobre la relación entre la física y las matemáticas, en concreto el álgebra tensorial, en donde ataca, en un ejemplo de su ya acentuada radicalización, lo que él considera un exceso en la interpretación del sentido real de las herramientas matemáticas usadas en la relatividad, lo que provoca, según su interpretación, más confusión:

La física y la matemática han marchado siempre unidas del brazo y cada una se ha beneficiado de los progresos de la otra. Ahora mismo, la moderna matemática, la que Rey Pastor llamó “ciencia de las estructuras abstractas”, parece pisar terreno firme porque se cree que sus abstracciones han sido confirmadas experimentalmente al aplicarlas a la teoría de la relatividad; y en consecuencia, son muchos los físicos que aceptan las asombrosas consecuencias de la teoría de Einstein porque creen que han sido demostradas matemáticamente. Ciertamente, las modernas teorías matemáticas constituyen una de las más maravillosas creaciones de la mente humana, entre otras razones porque han sido demostradas matemáticamente.(..) Desde luego, el formalismo matemático es irreprochable y el que se conforme con comprobar que no se vulneran las normas de la lógica matemática, no podrá poner reparos. Las dificultades comienzan cuando se trata de averiguar el significado de los símbolos y, sobre todo, de los vocablos que se utilizan. (...)

Todos los autores adoptan en el álgebra tensorial el glosario geométrico y no es fácil saber en cada caso si hay que dar a los términos el sentido directo o el figurado. (...)

La moderna geometría, y en particular el álgebra tensorial, está respaldada por la autoridad de matemáticos y físicos tan prestigiosos que parece osadía imperdonable el ponerle reparos. Pero aunque sólo sea por los malentendidos que se origina por el empleo de un lenguaje anfibológico, está indicado el poner de manifiesto que con él se oscurece aún más lo que de por sí es ya bastante confuso. (..)

En esta nota nos proponemos llamar la atención sobre algunas de las confusiones que resultan de tergiversar en el álgebra vectorial el significado de los términos geométricos.<sup>72</sup>

Esta introducción, un tanto sorprendente, sirve de preparación para justificar su planteamiento respecto al problema de calcular la métrica de un espacio, que como sabemos es un problema fundamental en la relatividad general. Para Palacios, las generalizaciones formales de la geometría de tres dimensiones a cuatro ó más, sólo son factibles si se aplican a los “sólidos reales, o sea a los que podemos manejar”. Y,

<sup>71</sup> *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1967, v 61, p. 537.

<sup>72</sup> Palacios, “Métrica, metrología y geometría”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1967, v 61, p 537 y 538.

evidentemente, desde el realismo “ingenuo” de Palacios solo se pueden manejar los de tres dimensiones:

La geometría abstracta y el álgebra tensorial son útiles si sirven para explicar los fenómenos que ocurren en el espacio natural de tres dimensiones, pero si sus predicciones se refieren exclusivamente a determinados espacios ficticios, por ejemplo al universo de Minkowski, dichas disciplinas no serán ya ciencias positivas o exactas, sino metafísicas tan abstrusas como inoperantes.<sup>73</sup>

Por el contrario, él mismo incluye, desde mi punto de vista, argumentos metafísicos que recuerdan a los de Balmes cuando afirma, respecto a la naturaleza del espacio

Así, en contar de lo que afirman los relativistas, no hay razón ninguna para suponer que es finito y cerrado. Cabe hacer conjeturas acerca de si la cantidad de materia existente en el universo es finita o infinitamente grande, pero cuantas afirmaciones se hagan acerca de la forma y del tamaño del espacio vacío son enteramente gratuitas. En contra de lo que afirman los relativistas, se puede decir del espacio que no es finito porque caben en él todos los cuerpos, por grandes que sean, y que no tiene límites porque donde no hay nada material no puede haber obstáculos infranqueables.<sup>74</sup>

Analiza el tema de la métrica de un espacio tensorial, afirmando, correctamente, que dicho espacio posee una métrica cuando la expresión del elemento de línea es un invariante bajo transformaciones de Lorentz en todos los sistemas de coordenadas. Recordemos que el elemento de línea viene dado, en un espacio de  $n$  dimensiones por la expresión

$$ds^2 = \sum_{\mu, \nu} g_{\mu\nu} dx_{\mu} dx_{\nu} \text{ con } (\mu, \nu = 1, 2, \dots, n).$$

Para un espacio euclídeo la métrica viene dada por

$$ds^2 = (dx_1)^2 + (dx_2)^2 + (dx_3)^2 + (dx_4)^2.$$

El problema es que Palacios considera el espacio natural de tres dimensiones y, este tipo de espacio, suponiéndolo euclídeo, en relatividad no dispondría de métrica ya que la expresión  $ds^2 = (dx_1)^2 + (dx_2)^2 + (dx_3)^2$  no permanece invariable. Defiende que en relatividad no se mantiene invariante el elemento lineal sino el intervalo espacio-temporal definido por

$$ds^2 = (dx_1)^2 + (dx_2)^2 + (dx_3)^2 - c^2 dt^2.$$

Como no se mantiene invariante el intervalo lineal, considera que no es aceptable la transformación de Lorentz y, con ello, la relatividad.

Pero aquí Palacios olvida que esta expresión del intervalo espacio-temporal es realmente el elemento lineal de un espacio de cuatro dimensiones, tres espaciales y la temporal. Por lo tanto en este espacio cuadrimensional, suponiéndolo euclídeo, sí que existe métrica y no en cambio, en el tridimensional. Para casos de espacios no-

---

<sup>73</sup> *Ibidem*, p. 539.

<sup>74</sup> *Ibidem*, p. 540.

euclídeos se puede generalizar igualmente. Pero Palacios también generaliza la invalidez de las transformaciones de Lorentz para espacios no-euclídeos:

En consecuencia, si nos atenemos a las definiciones del álgebra tensorial, se da el hecho paradójico de que el espacio natural de tres dimensiones, aquél en que existen todas las magnitudes susceptibles de medida y donde es válida la metrología basada en el análisis dimensional, es un espacio en el que no es posible definir ninguna clase de métrica, ni euclídea ni riemanniana.<sup>75</sup>

Respecto al factor  $\alpha = \sqrt{1 - v^2 / c^2}$  que afecta a la contracción de los cuerpos afirma

... es plausible admitir que el movimiento origina en los cuerpos sólidos una transformación afín; pero no tiene sentido decir que se altera la métrica del espacio. También los cambios de presión o temperatura deforman los cuerpos, y a nadie se le ocurre el desatino de pensar que, por ello, no sólo deja de ser válida la geometría de Euclides, sino que ni siquiera existen curvas en las que medir los arcos muy pequeños.<sup>76</sup>

Recordemos que la métrica del espacio sólo se ve realmente alterada para movimientos no uniformes o campos gravitatorios, pero no en el ámbito de la relatividad especial, en contra de lo afirmado aquí por Palacios. Concluye nuestro autor con una defensa a ultranza del espacio euclídeo:

Lo correcto sería decir que el espacio natural es euclídeo y que el de Minkowski, por ser artificial, puede tener la métrica que quieran atribuirle los teorizantes, pues todo se reduce a alterar convenientemente la longitud de los metros junto con la marcha y la puesta en hora de los relojes.<sup>77</sup>

Palacios se defendió de los que afirman “que la creencia en el espacio y en el tiempo absolutos son prejuicios metafísicos”. Para ello sostenía que la física newtoniana sigue siendo válida sin más que completarla con la suya, que también dice es acorde con los hechos observados. Afirmaba que la teoría de Einstein negaba de antemano la posibilidad de resolver la explicación de en qué consiste la estructura del espacio físico<sup>78</sup>. En mi opinión esto puede ser cierto para la relatividad especial, pero en la teoría general, con la geometrización del espacio-tiempo y la explicación de la interacción gravitatoria como curvatura de dicho espacio-tiempo debida a las masas gravitatorias, sí se daba solución a la estructura del espacio físico. Dice Palacios

Al espacio de Einstein conviene el adjetivo de metafísico, pues nada tiene que ver con el espacio real, sobre todo si se le añade el tiempo como cuarta dimensión. De este modo se ha creado una cronogeometría en la que, ni cabe la realidad física, ni constituye una teoría lógicamente

<sup>75</sup> *Ibidem*, p. 542.

<sup>76</sup> *Ibidem*, pág 542.

<sup>77</sup> *Ibidem*, pág 543.

<sup>78</sup> Palacios, *Relatividad. Una Nueva Teoría*, 1960, en el apartado Rehabilitación de Newton.

aceptable. Lo más que puede decirse de ella es que es irreproachable desde el punto de vista matemático.<sup>79</sup>

Vemos que nuestro sabio español vuelve a argumentos más propios de los años de recepción, como el defender que con el esquema clásico newtoniano sobre el espacio y el tiempo éste se aprende mucho más fácilmente por su carácter intuitivo, siendo motivo para defenderlo frente al esquema relativista.

Incluso consideraba algo propio del misticismo incluir el factor imaginario  $\sqrt{-1}$  en la conjunción del espacio y el tiempo realizada por Minkowski, mediante el artificio matemático de considerar la cuarta dimensión como *ict*, y que por este misticismo “se pretende que el tiempo y el espacio son aspectos de una misma cosa”<sup>80</sup>. Curiosamente este aspecto lo explica muy bien en su libro de 1947 *El esquema físico del mundo*, como ya vimos. En cualquier caso hay que reconocer en Palacios su capacidad para explicar pedagógicamente con brillantez y claridad la consideración de un universo de cuatro dimensiones, como se comprueba en el siguiente párrafo:

Ocorre, en efecto, que Minkowski, profesor que había sido de Einstein, supo dar de la teoría de su antiguo discípulo una genial interpretación que es ciertamente de las mas bellas construcciones matemáticas hechas para interpretar la realidad. Y de ellas se desprende que, del mismo modo que al proyectar un cuerpo sobre una pantalla, basta darle vueltas para que, en la proyección aumenten unas distancias y disminuyan otras, por lo que si queremos saber como es el objeto real hemos de verlo en sus tres dimensiones y no en proyección, así también la realidad, según la teoría de Einstein, se encuentra en un espacio de 3+1 dimensiones (tres espaciales y una temporal) y ocurre que, por nuestra manera de ser, vemos de la realidad una proyección en tres dimensiones que, naturalmente, no nos proporciona información completa.<sup>81</sup>

#### *Constantes de la Naturaleza. Constante de Planck. La velocidad de la luz.*

En 1957 Palacios publicó en la revista de la sociedad italiana de Física un artículo, con el nombre de "Las constantes universales de la Física"<sup>82</sup>, que suponía una reflexión interesante sobre el problema dimensional de las constantes universales. Aunque no se concluye una crítica directa a la relatividad, probablemente por ser un medio de reconocido prestigio internacional, sí se intuyen sus reticencias al respecto y su defensa del “realismo”. Destaca la importancia de las leyes fundamentales consistentes en relaciones de proporcionalidad en las que intervienen unas constantes características y unas constantes universales. Un ejemplo es la constante de gravitación como factor de proporcionalidad entre la masa inercial y la masa gravitatoria; otro caso es la velocidad de la luz como una constante que implica un factor de proporcionalidad entre la masa inercial y el aumento de energía.

<sup>79</sup> *Ibidem*, 1960, p. 136

<sup>80</sup> Palacios, "El espacio y el tiempo en la teoría de Einstein", *Segunda reunión de aproximación filosófico-científica*, Instituto Fernando El Católico, CSIC, 1959.

<sup>81</sup> *Ibidem*, 1959, pág 359.

<sup>82</sup> Palacios, *Il Nuovo Cimento*. Sup. Vol. VI, Serie X. Nº1 1957 2º Semestre, p 403 a 412.

Según Palacios, a pesar del carácter desconcertante de las constantes universales, éstas llevan asociadas de forma implícita un carácter real, es decir existe una realidad exterior asociada a la física que se basa en constantes universales. Por eso defiende el que no se debe jugar con la arbitrariedad de asignar valores adimensionales a las constantes por conveniencia en formalismos matemáticos (como sí realizan algunos físicos, lo que critica). Por lo tanto, se requiere dar una norma que permita decidir qué constantes son realmente las imprescindibles y cuales las superfluas, para así evitar incongruencias en el ámbito del análisis dimensional.

Palacios establece el criterio por el que son ineludibles las constantes que relacionan magnitudes inseparables, por ejemplo la de la gravitación y la de la velocidad de la luz. Este criterio no es más que el análisis dimensional aplicado a dichas constantes. De esta conclusión se deduce que tanto  $G$  como  $c$  son ejemplos de constantes ineludibles. Más tarde, en 1960, partiendo de la aplicación del análisis dimensional a las transformaciones de las constantes (según sus ecuaciones de transformación), la constante  $G$  ya no será universal, al variar según los sistemas de referencia, como ya se adelantó en la síntesis y veremos en detalle más adelante.

En el libro de 1960 añade un apartado muy importante, el del postulado de covarianza. Según su nueva teoría se sigue cumpliendo la covarianza de la leyes físicas pero no de las constantes, excepto la de  $c$ . Palacios explica que en la teoría de Einstein todas las constantes universales deben conservar su valor en todos los sistemas inerciales porque si no se podría distinguir unos sistemas de otros, lo que invalidaría el principio de relatividad. En cambio esta restricción no se cumple en su nueva teoría. En mi opinión, desde el punto de vista de la axiomática, esto no es del todo correcto, ya que en relatividad especial se postula la covarianza de las leyes físicas y de ello se deduce la de las constantes, pero, en rigor, no se postula como condición inicial la covarianza de las constantes físicas, como parece indicar Palacios.

En el capítulo dedicado a la dinámica relativista se introducen tres nuevos apartados en relación con el texto de 1957, son: “Las cantidades y sus medidas”, “Influencia del movimiento sobre las constantes universales” y “Rehabilitación de Newton”. En los dos primeros Palacios desarrolla su teoría asociada al crucial tema, siempre presente, del Análisis Dimensional, sobre la confusión entre la cantidad de una magnitud física y su medida, problema que afirma no se ha resuelto en ningún tratado de relatividad y al que ahora sí se da solución apoyándose en su texto de *Análisis Dimensional* de 1956. El razonamiento sintetizado de Palacios es el siguiente:<sup>83</sup>

Tenemos que la relación entre cantidad, medida y unidad viene dada por  $(A)=A \times U_A$ , donde  $(A)$  es la cantidad,  $A$  es la medida y  $U_A$  es la unidad. Si se considera una fórmula dimensional del tipo  $[A]=L^{\lambda} M^{\mu} T^{\sigma}$ , desarrollando a partir de las ecuaciones de transformación correspondientes, se obtiene la relación entre unidades (para la longitud, tiempo y masa) en dos sistemas de referencia  $S$  y  $S'$ , que quedan de la siguiente forma

---

<sup>83</sup> Palacios, *Relatividad. Una nueva teoría*, Espasa-Calpe, Madrid, 1960, p. 128 a 132.

$$\frac{U'_L}{U_L} = \alpha ; \frac{U'_T}{U_T} = \alpha ; \frac{U'_M}{U_M} = 1$$

Esto lo obtiene Palacios de la transformación de la longitud y del tiempo.

Para la longitud considera que aplicando las transformaciones, 1 metro de S' es igual que  $\alpha$  metros de S, por lo que  $\frac{U'_L}{U_L} = \alpha$  ;

Para el tiempo supone que hay que medir la cantidad de tiempo ( $\Delta t$ ) que tarda la luz en recorrer cierta distancia (R), el observador en reposo utilizando sus relojes hallará que  $\Delta t = R/c$ , mientras que el de S' hallará  $\Delta t' = R'/c$ , puesto que c es invariante, con lo que se obtiene  $\Delta t / \Delta t' = U'_T / U_T = \alpha$

De la masa dice que “como la masa no interviene en las fórmulas de transformación, no es necesario preocuparse por lo que pueda suceder a sus unidades”, es decir la masa no varía respecto a las transformaciones por lo que la relación es 1.

Se llega así a la relación entre las medidas de la magnitud A entre los dos sistemas de referencia que es la siguiente

$$\frac{U'_A}{U_A} = \left( \frac{U'_L}{U_L} \right)^\lambda \left( \frac{U'_M}{U_M} \right)^\mu \left( \frac{U'_T}{U_T} \right)^\sigma ; \text{ es decir } \frac{U'_A}{U_A} = \alpha^\lambda 1^\mu \alpha^\sigma = \alpha^\lambda \alpha^\sigma = \alpha^{\lambda+\sigma}$$

$A = \alpha^{\lambda+\sigma} A'$ , que se puede poner de la forma

$$A = \alpha^g A',$$

siendo  $g = \lambda + \sigma$ , factor al que llamamos grado de homogeneidad de A. Recordemos que  $\alpha = \sqrt{1 - v^2 / c^2}$

Las ecuaciones dimensionales de las tres constantes universales dimensionalmente independientes, es decir la velocidad de la luz, la constante de gravitación y la constante de Planck son

$$[c] = LT^{-1}$$

$$[G] = L^3 M^{-1} T^{-2}$$

$$[h] = L^2 M T^{-1}$$

Realizando las correspondientes transformaciones, los valores de dichas constantes al cambiar de sistema de referencia quedan de la forma

$$c = c' \quad (g=0)$$

$$G = \alpha G' \quad (g=1)$$

$$h = \alpha h' \quad (g=1)$$

Fijémonos que Palacios llega a estas transformaciones a partir del desarrollo de las transformaciones de las dimensiones [L], [T], [M], lo que, en mi opinión plantea un problema metodológico: ¿es válido trasladar las transformaciones de unas dimensiones a las de las ecuaciones?. Una de las lagunas del planteamiento de



Palacios es que en ningún momento justifica el motivo de aplicar las ecuaciones de transformación a las ecuaciones dimensionales.

En definitiva vemos que, según la teoría de Palacios, las constantes de gravitación y de Planck no son invariantes, ya que cambia su valor medido en diferentes sistemas de referencia, de acuerdo a su fórmula dimensional. Pero la velocidad de la luz sí es un invariante. Recordemos que en su *Análisis Dimensional* de 1956, aunque ya planteaba el problema dimensional que estaba implícito en la igualdad entre masa inercial y gravitatoria, (es decir rechazaba dicha igualdad por cuestiones dimensionales), Palacios en ningún momento planteó la posibilidad de considerar a la constante de gravitación  $G$  como variable en función de los sistemas de referencia. Este es un más caso de inconsistencia de su teoría a lo largo de los años.

La variación de la constante de Planck con la velocidad, es decir  $h' = \frac{h}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ ,

explicaría fenómenos como la prolongación de la vida de partículas inestables, como los mesones rápidos. Según Palacios, este hecho experimentalmente confirmado ya no se explicaría por la dilatación temporal relativista, ya que en su teoría no existe tal dilatación, sino por la variación de la constante de Planck.<sup>84</sup>

Antes, en 1957, ya había tratado el tema de la variación de la constante de Planck, pero no desde el punto de vista dimensional.<sup>85</sup> Al combinar las nuevas ecuaciones con la fórmula  $\varepsilon=h\nu$  resulta que la constante de Planck  $h$  no es invariante bajo transformaciones de coordenadas, es decir que en un sistema en movimiento es  $h'=h/\alpha$ . Dice que “salta a la vista la importancia de este resultado para la mecánica ondulatoria” indicando que una de las consecuencias es que la frecuencia de la onda asociada a un fotón emitido por un cuerpo en movimiento es  $\nu'=\nu/\alpha$  y que esto explica tanto el corrimiento al rojo del espectro de los rayos solares como la dilatación temporal asociada a la prolongación de la semivida de los mesones rápidos.

Es significativo que este anuncio de la variación de la constante de Planck lo plantea Palacios sin considerar el carácter revolucionario que tendría en la Física Cuántica. Por otra parte, Palacios en cambio no realizó ningún escrito asociado al desarrollo de esta idea sobre la mecánica cuántica, teoría que en ningún momento puso en duda a pesar del trascendental carácter de esta idea sobre la no covarianza de  $h$ . Tampoco propuso ningún experimento crucial para comprobar esta característica de la constante de Planck.<sup>86</sup>

Esta consecuencia de la nueva teoría, en mi opinión radical desde un punto de vista científico, no ha sido tratada, que yo sepa, con la suficiente importancia por otros

<sup>84</sup> Palacios, *Relatividad. Una nueva teoría*, 1960 p. 132.

<sup>85</sup> Palacios, “Revisión de la teoría de la relatividad”, *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, 1957.

<sup>86</sup> Al respecto hay que indicar que a partir de los años 90 se ha planteado la posible variación de la constante de estructura fina, dada por  $e^2/ch$ , donde  $e$  es la carga del electrón,  $c$  la velocidad de la luz y  $h$  la constante de Planck. Esta variación podría estar causada por la de la velocidad de la luz. También se ha planteado el que la constante de gravitación varíe con el tiempo. Pero estas investigaciones apuntan a posibles variaciones de estas constantes a lo largo del tiempo, no a variaciones según sistemas de referencia en movimiento.

autores que han trabajado sobre la teoría alternativa de Palacios, como Sellés o González de Posada.

En cuanto a la velocidad de la luz, Palacios intentó demostrar que la invarianza de la velocidad de la luz no es una ley de la Naturaleza sino consecuencia de la posibilidad de sincronizar relojes entre sistemas inerciales, que, a su vez, se debe a la contracción de cuerpos en movimiento.<sup>87</sup> Para Palacios la invarianza de  $c$  es una consecuencia de la ley de composición de velocidades, ley que recordemos era igual tanto en la teoría de Einstein como en la suya. Con la contracción de los cuerpos en movimiento, que es un proceso natural, los relojes entre sistemas inerciales pueden sincronizarse y eso hace que la medida de la velocidad de la luz sea invariante. Antes, en 1957, ya había planteado que la explicación más sencilla para el experimento de Michelson-Morley es la invarianza de  $c$ , pero él mantiene que "la invariabilidad de la velocidad de la luz es consecuencia de su doble aspecto ondulatorio y corpuscular"<sup>88</sup>

Visto con perspectiva histórica, vemos otro ejemplo de incongruencia de Palacios a lo largo de los años, ya que en 1963 aceptaba la posibilidad de la variación de  $c$ , a raíz del experimento de Kantor, como ejemplo de contradicción de la teoría de Einstein, cuando también, en buena lógica, contradecía la suya propia, que también mantenía la invarianza de  $c$ .

Respecto a la constante de Gravitación, al desarrollar la transformación de la fuerza de atracción gravitatoria Palacios concluye que la constante gravitacional no puede ser invariante, ya que obtiene la expresión

$G=G'(1 - (v^2/c^2) \sin^2\lambda)$  donde  $\lambda$  es el ángulo formado por la línea que une los dos cuerpos con el sistema de referencia en movimiento.<sup>89</sup>

En mi opinión este desarrollo no es correcto porque está aplicando la transformación a la ecuación clásica y no a las ecuaciones de campo de Einstein, donde  $G$  sí resulta invariante frente a transformaciones.

#### *La dinámica relativista en la teoría de Palacios.*

En la aplicación de su nueva teoría de la relatividad a las leyes de la dinámica, Palacios demuestra que se llegan a las mismas consecuencias que con la relatividad einsteniana, debido a que la ley de composición de velocidades es la misma. Al aplicar sus fórmulas de transformación a la aceleración y la fuerza, se llega a la expresión

$$f dt = d \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

que es la ecuación fundamental de la dinámica relativista, tanto en la de Einstein como en la de Palacios.

<sup>87</sup> Palacios, "The invariance of the velocity of light". *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v.54, 1960, p. 493.

<sup>88</sup> *Ibidem*, p. 24.

<sup>89</sup> Palacios, "The newtonian law of gravitation in the theory of relativity" (1961).

Partiendo de esta ecuación y supuesto el principio de conservación de la energía en mecánica relativista, como todo el trabajo realizado por una fuerza sobre un cuerpo libre se invierte en aumentar su energía cinética tenemos que

$dE = f ds$ , es decir  $dE = f v dt$ , por lo que

$$dE = mvd \frac{\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ e integrando en ambas partes}$$

$E = mc^2 [(1 - v^2/c^2)^{-1/2} - 1]$ , con lo que si la velocidad de la partícula fuera la de la luz, tendríamos que  $E = \infty$ , con lo que la velocidad de la luz es un límite insuperable. Desarrollando en serie, la expresión de la energía cinética queda

$E = m(\frac{1}{2}v^2 + \frac{3}{8}\frac{v^4}{c^2} + \dots)$ , y en primera aproximación se obtiene el mismo valor que en Dinámica clásica.

Comparando la ecuación fundamental de la dinámica relativista con la de la dinámica clásica  $f dt = d(mv)$ , es factible pensar que el movimiento hace aumentar la masa de la

forma  $m' = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$  y sustituyendo en la expresión de la energía resulta

$$m' = m + E/c^2$$

Es decir, todo ocurre como si a causa del movimiento, hubiera que agregar a la masa propia  $m$ , un término dependiente de la energía cinética dividido por la velocidad de la luz al cuadrado.<sup>90</sup> Veamos parte del razonamiento textual de Palacios:

Einstein tuvo la idea genial de generalizar el resultado precedente y establecer un nuevo principio, que dice así: A toda especie de energía corresponde una masa que se obtiene, en cualquier sistema coherente de unidades, dividiendo el valor de la misma por el cuadrado de la constante universal  $c$ . Según esto, si de un sistema se desprende una energía  $\Delta E$ , su masa experimentará una disminución,  $\Delta m$ , dada por la expresión

$$\Delta m = \Delta E/c^2. \quad [11.4]$$

Previó Einstein que esta hipótesis podría comprobarse en las transformaciones radiactivas, y el descubrimiento de las escisiones nucleares ha confirmado plenamente esta previsión, lo cual ha dado justo prestigio a la teoría de la relatividad. Es de notar, sin embargo, que con la nueva teoría hemos obtenido las mismas fórmulas que con la de Einstein, por lo que con ella resulta también justificada.<sup>91</sup>

Aun así, Palacios rechaza la idea de la equivalencia masa-energía en el sentido que una pueda transformarse en la otra, ya que no son magnitudes homogéneas. Si se les diera el carácter de homogéneas habría que dar el valor 1 a la constante universal  $c$

<sup>90</sup> Para todo el desarrollo anterior se ha seguido Palacios, *Relatividad. Una Nueva Teoría*, capítulo III Dinámica relativista.

<sup>91</sup> Palacios, *Relatividad. Una Nueva Teoría*, 1960, p. 120.

“lo cual echa por tierra el análisis dimensional por tratarse de una constante ineludible”. En este tema Palacios es ambiguo porque acepta la fórmula  $E=mc^2$  pero aclara que no es que se pierda masa sino que la masa perdida por una partícula es la misma que contiene la energía liberada. Dice que en este sentido sigue siendo válido el principio de conservación de la masa y no hay que postular un nuevo principio de conservación de masa-energía. Creo que este es un problema de terminología entre materia, masa y energía.

Para Palacios, el que la energía posea masa tiene cabida en la dinámica newtoniana, sin más que considerar que la denominada masa inercial asociada a la ecuación de la dinámica, se compone de una masa material o propia y de una masa energética que viene dada por  $E/c^2$ .

De hecho, para Palacios se puede construir una nueva teoría de la relatividad basada en dos postulados: Inercia de la energía (la energía de cualquier tipo tiene asociada una masa inercial dada por  $m=E/c^2$ ) y contracción de los cuerpos en movimiento, dada por el factor  $\alpha=\sqrt{1-v^2/c^2}$ .

Fijémonos que en este caso, Palacios considera un postulado que él mismo ha planteado como consecuencia en su teoría. Esto indica, a mi juicio, una base axiomática poco sólida.

En otro orden de aspectos relacionados con la dinámica relativista, trató la covarianza de la ecuación fundamental de la dinámica. Intentó demostrar que para conseguir dicha covarianza hay que introducir “fuerzas ficticias” que no se corresponden con las realmente observadas.<sup>92</sup> Para ello parte de la ecuación relativista de las transformaciones de las fuerzas y plantea el problema de la medida de esas fuerzas con un dinamómetro. Con estas premisas la ley de la dinámica, que aparentemente sí es covariante (ya que la expresión de las fuerzas es la misma en los dos sistemas de coordenadas) queda de la forma

$$\bar{f} = m \frac{d}{dt} \left( \frac{\bar{u}}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \right)$$

$$\bar{f}' = m \frac{d}{dt'} \left( \frac{\bar{u}'}{\sqrt{1-u'^2/c^2}} \right)$$

Pero en realidad, esta ley fundamental de la dinámica no es covariante, siempre según Palacios, porque esta covarianza se obtiene introduciendo fuerzas ficticias que no se pueden observar;  $f$  es la fuerza real que se puede medir y  $f'$  la ficticia. Como las razones de  $f_x/f'_x$ ,  $f_y/f'_y$ ,  $f_z/f'_z$  no son constantes, la diferencia no se puede anular por cambios de constante.

---

<sup>92</sup> En “The Transformation Laws in Relativity” *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 59, 1965, p. 23-35.

En 1965 publica un trabajo exclusivo sobre la dinámica relativista<sup>93</sup>, en el que insiste que uno de los éxitos mayores de la teoría electromagnética es haber previsto que la energía posee masa inercial, de tal modo que basta comunicar a un cuerpo energía para que aumente su masa. Debido a que ya no puede decirse que la masa de un cuerpo sea una magnitud invariable se deben revisar los conceptos y leyes de la mecánica clásica. Toda la física clásica se basaba en la distinción entre materia y energía. El problema radica, para Palacios, en la confusión entre los conceptos de masa y materia. Además, respecto al problema de la inercia de la Energía, considera que el descubrimiento de que la energía posee masa es anterior a la relatividad.<sup>94</sup> Ya en 1945 cuando analiza la importante cuestión de la presión de la radiación decía

Todo pasa, pues, como si las ondas electromagnéticas poseyeran una masa de impulso igual a su energía dividida por el cuadrado de la velocidad de la luz. La Teoría de la Relatividad ha generalizado este resultado haciéndolo aplicable a todas las especies de energía, e identificando la masa de impulso con la inercial y la gravitación.<sup>95</sup>

Pero en cambio, ahora Palacios dice que la expresión  $E=mc^2$  “puede obtenerse de la teoría de Maxwell sin recurrir al principio de relatividad” y además anuncia que demostrará que está en contradicción con dicho principio.

Su razonamiento parte del supuesto de un tren de ondas que incide normalmente sobre una lámina conductora. El campo electromagnético asociado a las ondas origina en la lámina corrientes inducidas que, a su vez, por efecto del mismo campo electromagnético, están sometidas a fuerzas que mueven la lámina. Si en el sistema formado por el tren de ondas y la lámina no hubiese más masa que la de la lámina, esto implicaría que el centro de masas del sistema se hubiera movido, lo que está en contradicción con el principio de inercia. Por lo tanto, para mantener la hipótesis de que el centro de masas del sistema debe permanecer invariable es preciso atribuir a las ondas cierta masa  $m_w$ , masa que sólo puede depender de la energía de las ondas ( $W$ ), y por lo tanto de su frecuencia, y de las constantes del vacío  $\epsilon_0$  y  $\mu_0$ . Aunque no lo razona, se basa en el teorema de *pi* del Análisis Dimensional para deducir que siendo las magnitudes implicadas  $m_w$ ,  $\epsilon_0$ ,  $\mu_0$  y  $W$  debe haber una relación de proporcionalidad de la forma  $m_w = k W / c^2$

Conviene aquí que repasemos el citado teorema de *pi*.<sup>96</sup> Este teorema del Análisis Dimensional dice que si tenemos una ley representada por la ecuación

$f(x_1, \dots, x_n)=0$ , basada en relaciones de proporcionalidad entre las magnitudes independientes de la teoría asociada con dicha ley, entonces se puede expresar de la forma

$F(\pi_1, \dots, \pi_i) = 0$  donde los  $\pi_i$  son monomios independientes adimensionales, es decir  $[\pi_i]=1$ , que pueden formarse con las magnitudes consideradas.<sup>97</sup>

<sup>93</sup> Palacios, “Dinámica relativista”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v. 59, 1965, p 37-69.

<sup>94</sup> Esta referencia histórica la desarrolla más extensamente en el artículo de 1968 “La nueva dinámica antirrelativista”, pero se trata en el capítulo 8 “La cruzada de Palacios” en la parte dedicada a las dudas que planteó sobre cuestiones de prioridad.

<sup>95</sup> Palacios, *Electricidad y Magnetismo*, 1945, p. 454.

Aunque, como se ha comentado, no se razona la deducción, la idea de Palacios es que si la masa sólo puede depender de  $W$ ,  $\epsilon_0$  y  $\mu_0$ , el monomio de dimensión nula debe ser  $m_w / W \epsilon_0 \mu_0$ , por lo que despejando de  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ , queda la expresión buscada, y digo buscada porque parece que se fuerza la forma de deducción lógica del proceso.

Para calcular la constante  $k$  considera un caso particular en el que las ondas son totalmente absorbidas, es decir no hay ondas reflejadas ni transmitidas. De esta manera la ecuación de Maxwell

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{I} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \text{se convierte en } i_x = i_z = 0 \quad i_y = -\frac{\partial H_z}{\partial x}.$$

Desarrollando la expresión de la fuerza ejercida por el campo  $\vec{f} = h \vec{I} \wedge \vec{B}$ , donde  $h$  es la altura de la lámina, llega a la expresión diferencial

$$dm_w = \frac{dW}{c^2}, \text{ de donde se deduce que } k=1.$$

Concluye aquí Palacios que aunque el razonamiento anterior demuestra que las ondas electromagnéticas poseen masa, el principio de inercia exige que dicho razonamiento sea aplicable a todas las formas de energía.

Por lo tanto, el hecho de asociar inercia a la energía obliga a modificar los principios clásicos de conservación de la masa y la energía, pero sin aceptar la teoría einsteniana.

Para Palacios es incorrecta la interpretación de Einstein sobre la transformación de masa en energía por la que se consideran magnitudes equivalentes, lo que él no puede aceptar basándose en el análisis dimensional. Para aclarar la posible confusión señala

La masa es un atributo común a todas las especies de materia y a todas las formas de energía. Afirmar que la masa y la energía son cosas equivalentes vale tanto como confundir un objeto con alguna de sus propiedades, el volumen por ejemplo. Finalmente, para que una cosa se transforme en otra es preciso que deje de ser lo que era y adquiera una nueva manera de ser. Lo que sucede es que la energía  $W$ , que se hallaba en el sistema en una u otra forma, lleva consigo, al ser expulsada, toda su masa  $W/c^2$ . Nada autoriza, pues, a decir que la masa se ha

<sup>96</sup> Palacios no lo hace en el texto, sino que refiere al Análisis Dimensional. He realizado una síntesis en favor de la claridad.

<sup>97</sup> A continuación se indica un ejemplo con intención clarificadora. Sea la expresión de la distancia recorrida por una partícula en función de la velocidad, aceleración y tiempo  $d=vt+\frac{1}{2}at^2$ ; se puede expresar como una función  $f(d,t,v,a)=0$  de la forma  $d-vt-\frac{1}{2}at^2=0$ . Hay que buscar un monomio con todas las variables de la función, es decir  $\Pi = d^a t^b v^c a^e$  que sea adimensional, es decir  $[\Pi]=1$ . Se puede poner la expresión de la función de la forma  $d/vt - 1 - \frac{1}{2}at^2/vt=0$ ; que es de la forma  $\Pi_1 - 1 - \frac{1}{2}\Pi_2=0$ ; donde  $\Pi_1 = d/vt$ ;  $\Pi_2 = at^2/vt$ ; es inmediato comprobar que  $\Pi_1$  y  $\Pi_2$  son adimensionales ya que, sustituyendo las ecuaciones dimensionales  $[d]=L$ ;  $[t]=T$ ;  $[v]=LT^{-1}$ ;  $[a]=LT^{-2}$ , vemos que  $[d]=[vt]$  y  $[at^2]=[vt]$ .

transformado en energía ni que ambas magnitudes son equivalentes, como sucede con el calor y el trabajo, por ejemplo.

De acuerdo con las ideas expuestas en mi Análisis Dimensional, la masa y la energía deben considerarse como *magnitudes inseparables*, cuya razón es siempre una constante universal. En este caso, la constante universal es  $1/c^2$ .<sup>(98)</sup>

En cuanto a la energía, un sistema tiene tres tipos de energía: interna, cinética y potencial. Para Palacios no es cierta la idea de Einstein de la unicidad en un solo principio de conservación de los dos principios de conservación, el de masa y el de la energía. En los casos de producción de corpúsculos como protón-antiprotón o electrón-positrón mediante el consumo de la energía de un fotón o bien del fenómeno opuesto, destrucción de los corpúsculos con la correspondiente generación de energía radiante, lo correcto, según Palacios, sería afirmar que la masa total del sistema se conserva, ya que la masa ganada como masa de la energía es la perdida como masa propia. Es decir, en realidad lo que hay es transformación de materia en energía. Por lo tanto subsiste el principio de conservación de la masa total. Además en cuanto a equivalencia lo correcto es hablar del principio de equivalencia entre materia y energía.

En mi opinión, la dificultad planteada por Palacios, aunque correcta, es más un problema de lenguaje, que de validez de teorías físicas. Realmente no parece que se contradiga la relatividad.

Palacios no perdía oportunidad en quitar importancia a los logros de Einstein, poniendo en duda aspectos de prioridad de Einstein sobre la dinámica relativista<sup>99</sup>. Este asunto se trata en profundidad en el apartado 4.4.4 "La cruzada de Palacios".

Obtuvo Palacios la ecuación fundamental de la dinámica relativista basándose exclusivamente en el principio de asignar inercia a la energía, sin utilizar el principio de relatividad. Además anuncia la incompatibilidad de dicho principio con la ley fundamental. Ciertamente, Palacios realiza la demostración basándose en la inercia de la energía<sup>100</sup>, pero en cuanto a la incompatibilidad del principio de relatividad con la ley fundamental de la dinámica no se aprecia tan claro su razonamiento. Sigue el famoso artículo de Einstein de 1905, aunque con una notación más clarificadora. Realmente la notación usada por Einstein es engorrosa, ya que por ejemplo denomina a las componentes del campo eléctrico X,Y,Z y a las del magnético L, M, N . Para comparar el seguimiento que hace Palacios, he usado el texto traducido al español que aparece en *Einstein 1905: un año milagroso* de John Stachel<sup>101</sup>, donde la notación es exactamente la misma que el original en alemán. En toda la demostración que anuncia Palacios, lo único novedoso, respecto a los textos originales de Einstein y Planck citados, es lo siguiente:

Por otra parte, Einstein y Planck razonan sobre el movimiento de una carga en un campo electromagnético, caso en que es inaplicable la

<sup>98</sup> Palacios, "Dinámica relativista", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1965, v. 69 p. 45.

<sup>99</sup> *Ibidem*, 1965, p. 37 a 69.

<sup>100</sup> *Ibidem*, p. 51 a 55.

<sup>101</sup> Editorial Crítica, 2001.

ecuación [8.8] [se refiere a la ecuación fundamental de la dinámica relativista), pues con ser  $T+E_p=\text{const.}$ , la masa total, si no varía la energía interna, vale:

$$M = m_m + (U+T+E_p)/c^2 = \text{const.}$$

y resulta ser independiente de la velocidad que adquiera la carga en el campo. En consecuencia será aplicable la ley de Newton  $f dt = m du$ .

En resumen: la mal llamada ecuación relativista [8.8] es consecuencia correcta de las ecuaciones de Maxwell, según se vio, en el § 5, y es imposible obtenerla de la teoría de la relatividad sin incluir en contradicciones.<sup>102</sup>

En definitiva la supuesta demostración de la incompatibilidad del principio de relatividad con la ley de la dinámica relativista, en mi opinión, es más una interpretación que una demostración completa, porque como tal creo que no se entiende.

A continuación también intenta demostrar la no covarianza de la ley fundamental de la dinámica, pero también en mi opinión creo que es una cuestión de interpretación, ya que en las fórmulas de transformación de las fuerzas Palacios considera que la transformación “no es más que una ficción matemática”. En el fondo creo que el auténtico motivo de Palacios se basa en cuestiones dimensionales ya que dice

El razonamiento anterior puede aplicarse, *mutatis mutandis*, a todas las ecuaciones de la física, por lo que puede afirmarse que la pretendida covarianza no es una ley natural. Además, si fuese válido el principio de relatividad, debieran ser invariantes las constantes universales, cosa imposible puesto que su medida es afectada por el cambio de unidades de acuerdo con su respectiva fórmula dimensional.<sup>103</sup>

Para Palacios, la ecuación fundamental de la dinámica, “impropiamente llamada ecuación relativista”, es decir  $F = m \frac{d}{dt} \left( \frac{\vec{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \right)$  sólo puede estar asociada a las fuerzas de contacto y no para las acciones a distancia donde sigue siendo válida la newtoniana, es decir  $F = m \frac{dv}{dt}$ . En sus propias palabras la ley fundamental de la dinámica relativista “sólo es aplicable a las fuerzas de contacto, por ejemplo a las fuerzas elásticas o a las debidas al choque de las ondas electromagnéticas, pero no a las acciones a distancia como las fuerzas eléctricas o a las magnéticas”.<sup>104</sup>

Por último, Palacios critica los cinco argumentos aducidos para justificar el principio de relatividad: el argumento metafísico, la relatividad de los fenómenos electromagnéticos, la invariancia de la velocidad de la luz, los experimentos interferenciales y la inercia de la energía.

El argumento metafísico se desmonta, según su punto de vista, considerando que el movimiento se revela por un cambio en las dimensiones geométricas de los cuerpos,

<sup>102</sup> *Ibidem*, p. 57 y 58.

<sup>103</sup> *Ibidem*, p. 61.

<sup>104</sup> *Ibidem*, p. 50.



con lo que se considera que un cuerpo está en reposo absoluto cuando su tamaño es máximo. Esta idea la usa también para el argumento de los experimentos interferenciales, que se explican exclusivamente por la contracción real de los brazos del interferómetro. En mi opinión, aunque esta idea de Palacios es en principio válida, el problema es entonces ¿cómo medir que el tamaño de un cuerpo supuesto en reposo absoluto es máximo?

Sobre el segundo, la relatividad de los fenómenos electromagnéticos, sólo el caso de los efectos de un imán sobre un circuito que dependen del movimiento relativo de ambos está de acuerdo con el principio de relatividad. Pero no dice en qué casos no está de acuerdo con dicho principio, lo que considero una debilidad de su argumentación.

Respecto a la invarianza de  $c$ , ya vimos que para Palacios es una consecuencia de una elección incorrecta de los sistemas de unidades para las ecuaciones de Maxwell. Por último, la inercia de la energía se demuestra que no es consecuencia del principio de relatividad.

En lo relativo a que la inercia de la energía se deduce de las ecuaciones de Maxwell, no siempre Palacios se expresó así. En 1947 en su libro de divulgación *Física nuclear. De Leucipo a la bomba atómica* afirmaba

Ya Maxwell, como consecuencia de sus ecuaciones del campo electromagnético, dedujo que la luz comunicaba un impulso a los cuerpos en que se reflejaba. La predicción resultó plenamente confirmada al descubrirse que la llamada energía radiante ejerce una presión, lo mismo que si se tratase de un gas.

La teoría de la relatividad ha confirmado y generalizado lo previsto por Maxwell. De esta teoría resulta la necesidad de atribuir inercia a toda clase de energía, de donde se desprende que allí donde hay energía ha de haber masa inerte. Ocurre, pues, que todo aumento en la energía interna de un cuerpo lleva consigo un aumento de la masa. Además, la relación entre el aumento de energía y el aumento de masa es justamente igual al cuadrado de la velocidad de la luz,  $c$ . Podemos, pues, considerar la masa como una condensación de la energía a razón de un gramo por cada  $9 \cdot 10^{10}$  erg. La masa y la energía son transformables una en otra. Los cuerpos materiales son lugares en los que la energía ha adquirido un grado enorme de condensación. En un cuerpo de masa  $m$  hay una energía  $E=mc^2$ .<sup>(105)</sup>

En 1968 Palacios introdujo una novedad en su teoría, el asociar masa a la energía potencial.<sup>106</sup> Herranz, discípulo de Palacios, en una tesis doctoral bajo su dirección destacó la importancia de esta idea acerca de la masa de la energía potencial, idea

<sup>105</sup> Palacios, *Física nuclear. De Leucipo a la bomba atómica*, Valencia, 1947, p. 60.

<sup>106</sup> Palacios, "La nueva dinámica antirrelativista", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1968, capítulo 10 "La masa de la energía potencial". Excepto esta idea, en realidad este artículo no aporta nada nuevo respecto al de 1965, salvo la denominación, de marcado carácter combativo.

también establecida de forma independiente por Brillouin. Herranz aclara que esta idea no es contradictoria con la relatividad.<sup>107</sup>

### *Masa inercial y masa gravitatoria*

A lo largo de sus diferentes trabajos, Palacios concluye que Einstein parte de un error determinante: equiparar masa inercial con gravitatoria,

... pues para poder decir que dos cantidades son iguales es preciso que sus efectos sean iguales, y ocurre que la masa inerte y la gravitatoria se manifiestan por efectos que no son comparables entre sí porque son de índole totalmente diferente.<sup>108</sup>

Cuando hace un repaso histórico al problema de la masa indica que

Galileo y Newton dotaron a la materia de propiedades que se presentan con caracteres tan distintos que parecen antagónicos. La materia es, a la vez, inerte y gravitatoria, lo cual da origen a otras tantas magnitudes físicas. Lo procedente hubiese sido darles nombres diferentes, pero por desgracia no ha sido así. Ambas se llaman masas y, como si su diferencia fuese un accidente, se les aplica los adjetivos inerte y gravitatoria para distinguirlas. Pese a su común denominación, ambas especies de masa son claramente diferentes. La masa gravitatoria se manifiesta por el movimiento que cada cuerpo comunica a los que le rodean. Todo cuerpo, por ser grave, es capaz de hacer con otros lo que, por ser inerte, no puede hacer consigo mismo.

Del mejor conocimiento de los fenómenos cabe esperar que resulten diferentes cosas que parecían iguales. Una teoría que empieza por postular la igualdad de cosas claramente distintas, merece ser puesta en entredicho.<sup>109</sup>

En definitiva aunque el desarrollo matemático da el resultado de  $g = a$ , para Palacios esta igualdad es entre medidas ya que

... sería erróneo deducir de esta ecuación que la intensidad del campo y la aceleración son una misma cosa o que son cosas equivalentes, pues se trata de magnitudes inconfundibles que ni siquiera pueden transformarse una en otra. La ecuación dice, tan solo, que sus medidas son iguales cuando se utilizan unidades coherentes con ella.<sup>110</sup>

Al realizar las ecuaciones dimensionales para la masa inercial y la gravitatoria llega a las siguientes expresiones, con lo que queda patente la distinta índole de ambas masas:

$$[m_g] = L^{2/3} M^{1/2} T^{-1}$$

$$[m_i] = M$$

<sup>107</sup> Antonio Herranz, *Algunas consecuencias de la Teoría de la relatividad de Palacios*, Tesis doctoral, UCM, Facultad de Físicas, 1969, p. 109.

<sup>108</sup> Palacios, "Inercia y gravitación", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 59, 1965, p. 466.

<sup>109</sup> *Ibidem* p. 464 y 465.

<sup>110</sup> *Ibidem* p. 473.

Como además, partiendo de la ley de gravitación newtoniana se llega a  $m_g = \sqrt{G} m_i$ , identificar la masa inerte con la gravitatoria “equivale a negar la existencia de la constante de gravitación”.

Veamos el razonamiento de Palacios de  $m_g = \sqrt{G} m_i$  <sup>(nota111)</sup>

En todo cuerpo existen ambas especies de masa, inercial y gravitatoria, de tal forma que para dos cuerpos, la razón entre dos masas inerciales debe ser igual que la razón entre las respectivas masas gravitatorias, es decir

$$m_{i1}/m_{i2} = m_{g1}/m_{g2} = k \quad [1]$$

La ley de gravitación universal de Newton establece que la fuerza de atracción entre dos cuerpos (donde aquí hay que referirse a las masas gravitatorias) es directamente proporcional al producto de dichas masas e inversamente al cuadrado de su distancia, es decir, considerando que esta proporcionalidad es entre cantidades, la expresión correcta es

$$F \propto \frac{m_{g1}m_{g2}}{r^2},$$

Al pasar la relación de proporcionalidad entre cantidades a la correspondiente relación entre medidas hay que considerar un factor de proporcionalidad. Pero en virtud de su segundo postulado del “Análisis Dimensional”<sup>112</sup>, esta constante es superflua por lo que quedaría

$$F = \frac{m_{g1}m_{g2}}{r^2}, \text{ entre medidas,} \quad [2]$$

La ecuación [1] permite eliminar las masas gravitatorias en función de las gravitacionales, sustituyendo además  $G=k^2$ , con lo que queda

$$F = \frac{m_i m_i}{r^2}, \text{ por lo que se deduce que } m_g = \sqrt{G} m_i.$$

En mi opinión el razonamiento de Palacios no se sostiene sin más que comprobar que la masa gravitatoria no tiene dimensión de masa, ya que en su sistema la fórmula dimensional de la masa gravitatoria es

$[m_g] = L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}$ , y mi pregunta es la siguiente, si la masa gravitatoria no tiene dimensión de masa, entonces ¿qué es la masa gravitatoria?.

Otra inconsistencia de Palacios, en relación con otros desarrollos de su teoría, es que criticó reiteradamente que se igualaran a la unidad determinadas constantes, por ejemplo en formas diferentes de expresar las ecuaciones de Maxwell. En cambio, aquí

<sup>111</sup> Según aparece en “Inercia y gravitación” (Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid, 1965, p. 472 y 473), aunque la primera vez que Palacios plantea esta “sorprendente” ecuación es en 1956, en su obra *Análisis Dimensional*.

<sup>112</sup> Este segundo postulado dice que “Son ineludibles las constantes universales que relacionan dos magnitudes inseparables, y superfluas todas las demás”. Por constante superflua se quiere decir que eligiendo un apropiado sistemas de unidades, dicha constante se puede igualar a 1. Este postulado lo establece Palacios en *Análisis Dimensional*, 1957, p. 53.

no tiene ningún inconveniente en igualar a 1 la constante de proporcionalidad en la ley de Newton, ecuación [2], cuando usa masas gravitatorias.

La mejor solución a este problema planteado por Palacios, la había dado antes Ricardo San Juan, quien ya comprobó que había una inconsistencia dimensional en la igualdad de la masa inerte y la gravitatoria, inconsistencia que precisamente se soluciona con la relatividad general. Volveremos sobre este interesante asunto en el apartado 4.9 dedicado a la visión matemática de la relatividad por parte de los científicos españoles.

#### *Gravitación en la teoría alternativa de Palacios*

Vimos anteriormente que Palacios, en sus primeros textos sobre análisis dimensional, ya rechazaba la igualdad entre masa inercial y gravitatoria basándose en cuestiones estrictamente dimensionales, sin extraer conclusiones de tipo conceptual o físico. Más tarde sí consideró este planteamiento en el ámbito conceptual, lo que le llevaría a rechazar el principio de equivalencia sobre el que Einstein construyó su Teoría General de la Relatividad.

Palacios desarrolló sus ideas sobre gravitación en dos textos, el primero fue el capítulo VII, denominado "Relatividad General", del trabajo "Revisión de la Teoría de la Relatividad" (*R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1957), que repetiría en el libro de 1960 *Relatividad. Una Nueva Teoría*; el segundo "Inercia y Gravitación. Estudio crítico de la teoría general de la relatividad" (*R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1965), donde, como veremos, se contradecía en algunos aspectos con lo expuesto en el primero.

En el trabajo de 1957, al contrario que en la parte dedicada a la relatividad especial, donde desarrolla la teoría de Einstein y luego la suya, expone la idea básica de la relatividad general, la covarianza de las leyes físicas para cualquier sistema de coordenadas no inerciales y que ésta teoría fue ratificada por tres hechos confirmados experimentalmente, la precesión del perihelio de Mercurio, la desviación de los rayos de luz próximos a la acción gravitatoria del sol y el corrimiento de las rayas espectrales de la luz emitida por estrellas masivas. Palacios avisa que

Una revisión completa de la teoría general de la relatividad es tarea ardua, que sólo pueden abordar matemáticos de primera categoría. Para nuestro fin, lo que urge es averiguar si los hechos que se aducen como confirmación experimental de la teoría de Einstein pueden ser también explicados con la nueva teoría sin necesidad de hacer hipótesis *ad hoc*. Por fortuna, ello es factible sin gran aparato de cálculo siguiendo, *mutatis mutandis* el camino utilizado por Sommerfeld.<sup>113</sup>

Aunque ciertamente Palacios se muestra ambiguo, parece que quiere decir que también Sommerfeld realizó una teoría alternativa a la einsteniana o que como mínimo no hizo un desarrollo ortodoxo según la relatividad einsteniana. Es cierto que Sommerfeld, en su *Lectures on Theoretical Physics* de 1948, realiza un sistema de

---

<sup>113</sup> Palacios, *Relatividad, Nueva Teoría*, 1960, p. 234. En nota al pie se refiere al volumen tercero de *Lectures on Theoretical Physics* de 1948 que en inglés se publicó con el nombre de *Electrodynamics* en 1952.

cálculo diferente y más sencillo, evitando usar el cálculo tensorial, pero no implica modificación de los postulados relativistas, ya que Sommerfeld partía de las mismas bases conceptuales que Einstein. En definitiva, vemos que Palacios no plantea una teoría alternativa de la gravitación, sino que se apoya en Sommerfeld para justificar su rechazo del principio de relatividad, al plantear que sin este principio se da explicación a los tres hechos citados.

Repasando en profundidad el texto de Sommerfeld, en el apartado 38 "General Theory of Relativity; Unified Theory of Gravitation and Electrodynamics", se puede comprobar lo indicado anteriormente. Además, comparándolo con el texto de Palacios, efectivamente se comprueba que la parte de las deducciones de los tres hechos observables de la relatividad general, es prácticamente una traducción resumida del texto de Sommerfeld. Aunque es cierto que sigue a Sommerfeld, el punto de partida es diferente en la expresión correspondiente al elemento de línea  $ds$ .

Según el desarrollo de la relatividad general, basándonos en las transformaciones de Lorentz el elemento de línea es de la forma

$$ds^2 = dr^2/\alpha^2 + r^2 (d\theta + \sin^2\theta d\phi^2) - \alpha^2 c^2 t^2 \quad (114)$$

En cambio según las transformaciones de Palacios es de la forma

$$ds^2 = dr^2 + \alpha^2 r^2 (d\theta + \sin^2\theta d\phi^2) - \alpha^2 c^2 t^2$$

Pero este desarrollo del elemento de línea requiere previamente la aceptación del principio de equivalencia entre la aceleración y la gravitación, que implica que en el elemento de línea  $ds^2 = g_{ik} dx_i dx_k$  los coeficientes  $g_{ik}$  representan la métrica que define las características del espacio.

Por un lado, Palacios parece que acepta el principio de equivalencia y el hecho de que resolver el valor de los coeficientes  $g_{ik}$  implica llegar a unas ecuaciones de campo asociadas a la interacción gravitatoria. De hecho dice textualmente "Siguiendo a Sommerfeld, vamos a probar que el principio de equivalencia entre la aceleración y la gravitación basta para hallar los coeficientes  $g_{ik}$ ". Palacios explica que la solución para el cálculo de estos coeficientes la dio Einstein mediante su famosa ecuación

$$R_{ik} - 1/2 g_{ik} R = -1/c^2 T_{ik}$$

Pero en ningún momento Palacios plantea una ecuación alternativa que dé con la solución de los coeficiente  $g_{ik}$  y que contenga de forma completa a la de Newton. Como sabemos, las ecuaciones de campo de Einstein contienen a la de gravitación universal de Newton como caso límite en campos gravitatorios pequeños, pero en rigor Palacios debería haber desarrollado unas ecuaciones de campo formalmente similares que contuvieran las de Newton. Por lo que vemos, parece que Palacios sí acepta la TGR, aunque creo que no se entiende bien cómo lo hace rechazando el principio de

---

<sup>114</sup> Aunque ni Palacios ni Sommerfeld lo explican, creo conveniente aclarar esta notación. Los ángulos  $\theta$  y  $\phi$  son los correspondientes a la expresión del elemento de línea en este tipo de coordenadas. Como sabemos, el elemento de línea en tres dimensiones es  $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$ , si pasamos a coordenadas polares de la forma  $dx=dr$ ,  $dy=r d\theta$ ,  $dz=r \sin\theta d\phi$ , donde  $\theta$  y  $\phi$  son los ángulos que forma el vector  $r$  (el vector posición del punto  $x,y,z$ ) respecto de las coordenadas  $y,z$ , se obtiene la expresión de  $ds$  en coordenadas polares sin más que derivar sustituyendo las expresiones correspondientes.

relatividad de la teoría especial. Quizá esta ambigüedad la aclara más tarde, en 1965, con el artículo “Inercia y gravitación”, donde claramente ya no acepta el principio de equivalencia y afirma que la teoría de Newton sigue siendo válida con “los ligeros retoques debidos a la influencia que el campo gravitatorio ejerce sobre las dimensiones de los cuerpos materiales y sobre la estructura del éter”. En este trabajo se acepta la curvatura del espacio, pero no la del espacio-tiempo, manteniendo que el espacio curvado lo es dentro de una geometría euclídea. Volveremos más adelante sobre este punto.

Aun con todo, Palacios tiene el gran mérito de explicar muy bien la teoría de Einstein. Quizá, precisamente por intentar plasmar sus posibles inconsistencias, por reconocer que no la entiende, es por lo que se muestra tan clarificador en el desarrollo de la teoría einsteniana. En mi opinión, estudiando a Palacios se puede llegar a entender mejor la relatividad que con otros autores. Es una deuda que creo se debe tener con él. Junto a esto Palacios siempre se ha preocupado por mostrar un lenguaje claro y preciso. De hecho, el problema del lenguaje, de la precisión en los términos y conceptos fue una constante en su vida. No en vano fue miembro de la Real Academia de la Lengua. Este interés ha sido destacado por todos los estudiosos de su obra, como por ejemplo José Aguilar Peris o Francisco González de Posada.

Una vez más, vuelve a tratar el problema de la relación entre la masa inercial y la gravitatoria, defendiendo que no son iguales. Partiendo de consideraciones dinámicas sobre la energía cinética de un cuerpo acelerado, afirma que

[es] plausible admitir que los efectos gravitatorios se deben a una modificación en la estructura métrica del espacio, que deja de ser euclídeo. Con ello, el problema de averiguar el movimiento de un cuerpo en un campo gravitatorio queda convertido en un problema de Geometría no euclídea.<sup>115</sup>

Plantea que el origen de la solución al problema es la ecuación de movimiento de un punto material que está determinada por la ecuación

$$\delta \int ds = 0$$

Para hacer entender la idea del espacio curvo, expone un símil ya utilizado por Cabrera en 1923, el de un ser plano, al que denomina homúnculo, que sólo concibiera un espacio de dos dimensiones, aunque realmente está en una superficie esférica curvada. Vuelve a demostrar su capacidad didáctica, como se comprueba con el siguiente texto donde explica el símil:

Imaginemos un ser plano que, por vivir en la superficie helada de un gran lago, no concibiera más que un espacio de dos dimensiones. Para él las trayectorias naturales de los cuerpos serían líneas rectas. Supongamos que en sus excursiones llegase nuestro homúnculo extraplano a un lugar en que, por haber caído una gran piedra, hubiese una concavidad en la superficie helada. El homúnculo, incapaz de darse cuenta de la curvatura de la superficie en que vive, juzgaría que la piedra tenía la virtud de ejercer una *acción a distancia* sobre todos los cuerpos, y

<sup>115</sup> Palacios, *Relatividad. Una nueva Teoría*, 1960, p. 239.

podría interpretar los cambios de movimiento como debidos a un campo gravitatorio engendrado por la piedra. En cambio, cualquiera de nosotros, al percibir la concavidad, negaríamos la acción a distancia y atribuiríamos las anomalías observadas a la deformación sufrida por la superficie. A esta misma consecuencia podría llegar el homúnculo si realizase medidas en figuras geométricas y comprobase que las leyes de la Geometría plana, válidas lejos de la piedra, no se cumplían en las regiones próximas. De una u otra manera, quedaría descrita la concavidad como un espacio bidimensional no euclídeo incluido en un espacio euclídeo de tres dimensiones. Análogamente, la gravitación, que se nos presenta como una acción a distancia, es interpretada por Einstein como una deformación que las masas gravitatorias engendran en el espacio que las rodea, de tal modo que éste deja de obedecer a las leyes de la Geometría de Euclides, que corresponden a un *espacio plano*, y pasa a tener las propiedades de un *espacio curvo*.<sup>116</sup>

Para la explicación del avance del perihelio de Mercurio, Palacios, siguiendo a Sommerfeld, parte de la ecuación  $\delta \int ds = 0$ , pero la aplica al elemento de línea deducido por sus ecuaciones, no el de Einstein, que es el desarrollado por Sommerfeld. En los dos casos se llega a la misma solución. Aunque parezca paradójico, el problema es que Sommerfeld utiliza una aproximación en el valor de  $\alpha$  que hace que en las sucesivas ecuaciones diferenciales se anulen los coeficientes función de  $\alpha$ . Éste es el motivo de que se llegue a la misma solución, aunque se parta de elementos de línea diferentes.

Para el caso de la desviación de los rayos luminosos, ocurre otro tanto. Se parte de que los rayos luminosos son líneas geodésicas donde se aplica la ecuación  $\delta \int ds = 0$ , dando el mismo resultado para los dos tipos de elementos de línea, el de Palacios y el de Einstein. En cambio para el caso de las rayas espectrales, Palacios, desde el principio, sigue su propia teoría en que explica el corrimiento por el cambio en la constante de Planck.

En 1965, en la síntesis introductoria del artículo citado, plantea una nueva teoría de la gravitación con los siguientes postulados:<sup>117</sup>

- 1.- Hay un sistema de referencia en el que, en ausencia de campos gravitatorios, la velocidad de la luz no depende del movimiento del emisor.
- 2.- La teoría electromagnética de Maxwell es válida en este sistema de referencia
- 3.- La contracción de los cuerpos sólidos entre sistemas de referencia inerciales viene dada por las ecuaciones de transformación de Palacios.
4. El éter es contraído por campos gravitatorios de la misma forma que los cuerpos sólidos (puede que este postulado sea aquí la primera vez que lo establece).

Como se sabe, el intento de Einstein de generalizar la relatividad especial se basaba en la necesidad de la covarianza de las leyes de la física en todos los sistemas de

<sup>116</sup> *Ibidem*, p. 240.

<sup>117</sup> Palacios, "Inercia y Gravitación. Estudio crítico de la teoría general de la relatividad", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1965, v 59 p. 461-499.

referencia. Pero Palacios dice haber demostrado, en la serie de artículos que venía publicando, que esta covarianza “se logra mediante la introducción de magnitudes ficticias que nada tienen que ver con las realmente observadas”.

También rechaza la dilatación temporal debida al potencial gravitatorio. Realmente la supuesta influencia del campo gravitatorio sobre la marcha del tiempo se elude si se usan cronómetros perfectos.

En definitiva, según Palacios, procede volver a la teoría de la gravitación de Newton, pero introduciendo algunas modificaciones. Esta nueva teoría de la gravitación tendría seis postulados, (aunque antes, en el mismo texto, en la síntesis introductoria hablaba de cuatro), en cursiva señalamos las modificaciones respecto a los de la síntesis.

1.- Hay un sistema de referencia en el que, en ausencia de campos gravitatorios, la velocidad de la luz no depende del movimiento del emisor. *Este sistema de referencia se encuentra en reposo absoluto.*

2.- *Las cantidades de cualquier magnitud localizada en el sistema en reposo absoluto no dependen del movimiento del observador que las mide.*

3. *“los símbolos que figuran en las ecuaciones de la física representan las medidas obtenidas con el sistema de unidades adoptado convencionalmente”*

4. La teoría *electromagnética* de Maxwell es válida en este sistema de referencia (éste era el segundo de la síntesis).

5. *“todo cuerpo que se halla fijo en un campo gravitatorio experimenta el mismo cambio de forma y tamaño que si estuviese en un sistema inercial animado de la velocidad  $v$  que adquiriría al caer libremente desde el infinito hasta el lugar considerado”*

6. El éter es *contraído* por campos gravitatorios de la misma forma que los cuerpos sólidos. (éste es el cuarto de la síntesis).

Vemos que en estos seis postulados no aparece el tercero de la síntesis, referente a la contracción de los cuerpos sólidos entre sistemas de referencia inerciales. Palacios quiere aclarar que aunque estos postulados pueden parecer triviales, por el hecho de ser ignorados por los relativistas, se producen confusiones como la invarianza de la velocidad de la luz respecto a transformaciones de Lorentz, que para los relativistas es invarianza de la cantidad y para Palacios es realmente invarianza de la medida por usar relojes amañados. Este es un caso donde se comprueba la trascendencia del análisis dimensional en Palacios para rechazar la relatividad.

Con el último postulado, se admitiría la existencia del éter e implica una sustitución de la geometría no euclídea de la teoría de la gravitación einsteniana. Es importante señalar que no explica en qué consiste este éter ni la nueva geometría. Según este postulado el éter deja de ser isótropo,

... pero el cambio pasará inadvertido al efectuar medidas geométricas, pues lo que le pasa al éter le pasa también a los metros. Por eso, en



confirmación de la validez de este postulado se puede aducir el hecho de que ningún experimento haya permitido observar la menor anisotropía.<sup>118</sup>

En mi opinión esta conclusión es claramente atrevida y no se sustenta desde un punto de vista metodológico.

El factor de contracción del éter en un campo gravitatorio en función del potencial de dicho campo  $V$  vendría dado por la expresión

$$\beta = \frac{1}{1 - \frac{V}{c^2}}$$

Como  $V = \frac{-GM}{r}$  entonces es  $\beta = \frac{1}{1 + GM/rc^2}$  y calcula el caso para el sol donde se

comprueba que el factor de contracción es prácticamente 1. De esta forma sin considerar la deformación del éter sigue rigiendo la ley de Newton. No olvidemos que en la teoría de la gravitación de la relatividad general las ecuaciones de campo también incluyen la de Newton como caso límite. Esto no lo cita Palacios, pero es importante porque si considera válida su teoría por este hecho también lo debe ser la de Einstein.

Para calcular la ecuación del potencial gravitatorio, modificando la de Newton por el factor de contracción del éter, Palacios afirma que se debe

... hacer un cambio de variables que deje covariantes las fórmulas de la mecánica clásica y que transforme las coordenadas  $x, y, z$  medidas con el metro patrón (sistema  $S$ ), en las medidas  $x', y', z'$  que se obtendrían con el metro contraído (sistema  $S'$ ) y que, además, dejen invariante la constante  $c$  que figura en el factor de contracción.<sup>119</sup>

En este caso lógicamente usa las transformadas de Voigt-Palacios. Vemos aquí otra incongruencia del pensamiento de Palacios, cuando anteriormente decía que las leyes físicas no tenían que ser covariantes y ahora usa esta condición de covarianza para obtener sus ecuaciones de gravitación.

La ecuación que obtiene del potencial gravitatorio en sustitución de la de Newton es  $V = \beta^{-4} GM/r$ .

Con esta ecuación se pueden plantear los tres problemas clásicos de confirmación de la relatividad general, el corrimiento hacia el rojo de las rayas espectrales, la desviación de la trayectoria de la luz y el avance del perihelio de Mercurio. Para todos los casos obtiene las mismas fórmulas que Einstein. En el caso de la desviación, en vez de ser ésta producida por un cambio en la métrica del espacio, es debida a un índice refractivo del éter que depende del potencial gravitatorio. Es decir “el éter se comporta como un medio refringente no dispersivo cuya densidad óptica es afectada por la presencia de los cuerpos materiales”. Recordemos que ya José María Plans

<sup>118</sup> *ibídem*, p. 481.

<sup>119</sup> *Ibídem*, p. 483.

calculó la desviación de forma similar pero como mero instrumento de cálculo, sin implicaciones sustanciales o conceptuales.<sup>120</sup>

También consideró Palacios el problema de la conexión entre gravitación y electromagnetismo de la siguiente forma:

En ausencia de campos gravitatorios, el comportamiento óptico del éter está definido por las constantes electromagnéticas  $\epsilon_0$ ,  $\mu_0$ , que determinan la velocidad de propagación  $c=(\epsilon_0\mu_0)^{-1/2}$ . El potencial gravitatorio hace que ambas constantes se alteren, y resulta una nueva velocidad  $u=(\epsilon\mu)^{-1/2}$ . Sustituyendo estos valores en la expresión  $u=dx/dt = \alpha^2 dr'/dr = \alpha^2 c$ , obtenida anteriormente para la velocidad de la luz en función del factor de contracción asociada a masas gravitatorias, resulta

$$\epsilon \mu = \epsilon_0 \mu_0 / \alpha^4 = \epsilon_0 \mu_0 (1 - 4V/c^2)$$

Esta fórmula establece la conexión entre la teoría de la gravitación y la teoría electromagnética.<sup>121</sup>

La conclusión del artículo es un buen resumen del pensamiento de Palacios y es otro ejemplo, en mi opinión, de la falta de rigor metodológico del que algunas veces pecaba el físico español:

Todas las consecuencias a las que, con imponente aparato matemático, se llega en la teoría de Einstein se alcanzan por métodos elementales con la nueva teoría, pero el punto de partida y el camino son enteramente diferentes. En la teoría einsteniana se parte de postulados inadmisibles y se utiliza una métrica no euclídea del espacio, cosa que carece de sentido porque en el espacio vacío del todo, esto es, sin éter, no se pueden realizar medidas de ningún género. Desde nuestro punto de vista, la gravitación origina un cambio *real* en la estructura del éter, análogo al que produciría en cualquier fluido material una distribución no homogénea de temperaturas, a condición de que el coeficiente de dilatación fuese el mismo para todos los cuerpos materiales. En estas condiciones, las medidas efectuadas en el fluido no revelarían su cambio de estructura, del mismo modo que las medidas efectuadas en el éter con los metros que han sufrido la contracción gravitatoria no revelan la contracción experimentada por el éter. Pero, si las dimensiones de un cuerpo deformado térmicamente se miden con metros correctos, se apreciarán los cambios de forma y tamaño; así como los cambios de densidad, y sería insensato atribuir este fenómeno a la influencia de la temperatura sobre la métrica del espacio.

En la teoría de Einstein se marcha por caminos de los que se puede afirmar que no son reales porque son irrealizables. Su métrica se define en un espacio ficticio con una cuarta dimensión que se construye, en el papel, mediante el símbolo *ict*, pero no se dan las reglas para construir algo que, además de tener anchura, largura y altura, tenga el referido símbolo como cosa físicamente observable. Con tan insólito aditamento

<sup>120</sup> Plans, "Nota sobre la forma de los rayos luminosos en el campo de un centro gravitatorio según la teoría de Einstein", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, 1920.

<sup>121</sup> *Ibidem*, p. 488 y 489.

se construye una ficción matemática, la cronogeometría con la que se pretende explicar la realidad en que vivimos.

En la nueva teoría, la gravitación altera las dimensiones de los cuerpos, pero no influye para nada en la marcha del tiempo, que sigue siendo la variable independiente por antonomasia. Nuestro cambio de variables [se refiere a sus ecuaciones de transformación] no define una nueva métrica del espacio, sino que se interpreta como el cambio que experimentan las medidas de las coordenadas a consecuencia de la contracción *real* de los metros, contracción que es debida a su velocidad *absoluta* y al campo gravitatorio. El tiempo ficticio  $t'$  no figura en las tres primeras, por lo que es superfluo en la teoría de la gravitación, pues en esta teoría hay que operar con volúmenes infinitamente pequeños y es  $x' = \text{const.}$  Tan sólo en relatividad especial puede ser útil su empleo porque con él se consigue que sea invariante la medida de la velocidad de la luz, a condición de que se midan las distancias con los metros contraídos del sistema móvil. Y, aún en este caso, no es necesario alterar la marcha de los relojes; basta cambiar artificialmente su puesta en hora dándoles lo que Langevin llamó *coup de pouce*.

El que la duración de ciertos procesos sea influida por el campo gravitatorio, y el que sea posible utilizar estos fenómenos para construir relojes que se comporten de acuerdo con la teoría de Einstein, no puede aducirse como una prueba a favor. Esto, aparte de que la alteración depende del fenómeno que se considere, pues si bien es cierto que el campo gravitatorio prolonga la vida de los cuerpos radiactivos, es seguro que acorta el período de los relojes de péndulo.

La importancia atribuida a la teoría de Einstein, más que a sus consecuencias de orden físico, esto es, a lo que hay en ellas de medible, se debe a sus implicaciones gnoseológicas y cosmogónicas. Como todo ello carece de fundamento, procede volver a la teoría de Newton con los ligeros retoques debidos a la influencia que el campo gravitatorio ejerce sobre las dimensiones de los cuerpos materiales y sobre la estructura del éter.<sup>122</sup>

#### *Intento de recuperación de las acciones a distancia y el éter.*

Para Palacios hay que distinguir entre el vacío abstracto y el vacío físico, al que se le puede conceder realidad física porque en él se pueden medir magnitudes como la permitividad eléctrica, la permeabilidad magnética y la velocidad de la luz, que además están relacionadas según la teoría electromagnética de Maxwell mediante la ecuación  $c = (\epsilon_0 \mu_0)^{-1/2}$ . Esta relación y el hecho de que dichas magnitudes sean medibles en el vacío hace que el espacio tenga estructura, y esta estructura se puede identificar perfectamente con el éter.<sup>123</sup> En definitiva, la demostración de que el éter existe se

<sup>122</sup> *Ibidem*, p. 496 a 498.

<sup>123</sup> Esta idea de Palacios se puede seguir en su artículo "Los postulados de la nueva teoría de la relatividad", *Anales de Soc. Esp. Física y Quim*, 1960 p. 195, Apartado "Vacío y éter".

basaría en que podemos medir en el espacio una serie de magnitudes físicas. Por lo tanto

... lo indicado es poner las cosas tal como estaban en los tiempos en que W. Thomsom (Lord Kelvin) y GP.Tait sugerían que el centro gravitatorio de toda la materia que constituye nuestro universo (ahora habría que tomar en consideración la masa gravitatoria debido a la energía) podría ser considerado como *en reposo absoluto*.<sup>124</sup>

En definitiva, Palacios nos propone la recuperación de la idea del éter como referencial absoluto. Vuelve a usar citas fuera de contexto para apoyar su tesis y en este caso, ni más ni menos, que del propio Einstein.<sup>125</sup> Palacios afirma que fue Einstein en 1907 quien desechó la existencia del éter, pero que posteriormente cambió de opinión, ya que

...hay que recordar que trece años más tarde cambia Einstein radicalmente de opinión y afirma que "por otra parte, hay evidencia de mucho peso a favor de la hipótesis del éter. Negar su existencia equivale, en último término, a afirmar que el espacio vacío carece de todo género de propiedades físicas. Los hechos fundamentales de la Mecánica no armonizan con este punto de vista".<sup>126</sup>

Palacios volvió a usar esta misma cita de Einstein en el artículo "¿Existe el éter?" publicado en 1961 en la revista de filosofía *Crisis*, concluyendo que el propio Einstein veía indispensable el éter para la relatividad.

Desde mi punto de vista, esta interpretación de Palacios está sacada de contexto y es errónea (no hay más que repasar el texto completo según la referencia indicada en la nota al pie anterior), ya que lo que Einstein quería decir es que con la geometrización del espacio, es decir el que la materia implicara la curvatura del espacio-tiempo que explicaba ahora la interacción gravitatoria, se podía, como una cuestión terminológica, rescatar la idea del éter en cuanto a que el espacio tenía una estructura geométrica dependiente de las masas gravitatorias. Pero en ningún momento Einstein cambió de opinión en cuanto a la idea del éter como referente absoluto o medio para explicar las acciones a distancia y la propagación de las ondas electromagnéticas. En definitiva, el éter como estructura geométrica del espacio-tiempo sí, como referente para detectar el movimiento absoluto, no. Aunque es cierto que Einstein a lo largo de sus numerosos escritos no siempre se expresaba con claridad, el siguiente texto del creador de la relatividad es clarificador al respecto:

En las mentes de los físicos el espacio ha seguido siendo, hasta tiempos muy recientes, el receptáculo pasivo de todos los fenómenos, y que por sí mismo no participaba en los hechos físicos. Nuestro esquema de pensamiento sólo comenzó a tomar una nueva vertiente con la teoría

<sup>124</sup> Palacios, "Los nuevos postulados de la Teoría de la relatividad", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, 1960, p 203. (En la alusión a Thomson y Tait se refiere a su obra *Treatise on Natural Philosophy*, Cambridge, 1890).

<sup>125</sup> Una conferencia de 1920 impartida en Leiden con el título "Äther und Relativitätstheorie", pareció publicada en inglés en el libro *Sidelights on Relativity*, (Methuen, 1922). Hay versión española en *Einstein. Obra esencial*, edición de JM Sánchez Ron, Crítica, Barcelona, 2005, p. 135 a 145.

<sup>126</sup> *Ibidem*, p. 203.

ondulatoria de la luz y con la teoría del campo electromagnético de Faraday y Maxwell. A través de ellas se comprobó que existían en el espacio libre estados que se propagan en ondas, y asimismo campos localizados que eran capaces de ejercer fuerzas sobre masas eléctricas o polos magnéticos que se situaran en el punto exacto. En razón de que a los físicos del siglo XIX les hubiera resultado por completo absurdo atribuir funciones o estados físicos al espacio mismo, se inventó un medio que ocupaba todo el espacio, según el modelo de la materia ponderable: el éter, al que se consideraba como un vehículo de los fenómenos electromagnéticos y, por ende, también de los fenómenos luminosos. Los estados de este medio, que se suponían ser los de los campos electromagnéticos, en un primer momento fueron concebidos desde un punto de vista mecánico, sobre la base del modelo de las deformaciones elásticas de los cuerpos sólidos. Pero esta teoría mecánica del éter nunca obtuvo una aceptación total, y así se fue dejando de lado como interpretación detallada de la naturaleza de los campos etéreos. De este modo, el éter se convirtió en una especie de materia a la que se adjudicaba una única función: la de actuar como de sustrato de los campos eléctricos que por la índole de su naturaleza no resultaban analizables. El cuadro general era el que sigue: el espacio está invadido por el éter; en éste flotan los corpúsculos materiales o átomos de la materia ponderable, cuya estructura atómica había sido firmemente establecida a finales de siglo.

En vista de que se suponía que la interacción de los cuerpos se realizaba a través de los campos, también debía existir un campo gravitatorio en el éter, cuya ley de campo no había tomado aún por entonces una forma clara. Se imaginaba que el éter era sólo el asiento de todas las fuerzas que actúan en el espacio. La inercia también era vista como una acción de campo localizada en el éter, porque se había comprobado que las masas eléctricas en movimiento producen un campo magnético cuya energía proporciona un modelo de la inercia.

Hasta el gran descubrimiento de H. A. Lorentz, las propiedades mecánicas del éter constituían un misterio. Todos los fenómenos del electromagnetismo por entonces conocidos podían ser explicados sobre la base de dos supuestos; el primero afirma que el éter está firmemente fijado en el espacio, es decir, que no es capaz de ningún movimiento y el segundo sostiene que la electricidad está firmemente fijada en las partículas elementales móviles. Hoy el descubrimiento de Lorentz puede ser expresado de la siguiente forma: **el espacio físico y el éter son sólo términos diferentes para referirse a una misma cosa; los campos son los estados físicos del espacio. Si no es posible adjudicar al éter un estado de movimiento, no existe ningún motivo para introducirlo como una entidad especial junto al espacio.** Pero los físicos estaban aún muy lejos de esa forma de pensar; para ellos el espacio seguía siendo algo rígido, homogéneo, incapaz de cambiar o de asumir estados distintos. Tan sólo el genio de Riemann, solitario e incomprendido, había marcado un camino, a mediados del siglo pasado, hacia **una nueva concepción del espacio, en la cual éste resultaba despojado de su rigidez y así se reconocía la posibilidad de su participación en los**

**fenómenos físicos.** Esta verdadera proeza intelectual es acreedora de nuestra admiración, muy en especial porque ha precedido a la teoría del campo eléctrico de Faraday y Maxwell. Más tarde surgió la teoría de la relatividad restringida, con su reconocimiento.<sup>127</sup>

Concluye Palacios que, admitida la existencia del éter, adquiere pleno sentido la simultaneidad absoluta y aunque nada impide que se defina una simultaneidad relativa, realmente lo que ocurre es similar al caso en que “entre el tiempo propio de cada sistema inercial y el tiempo verdadero del sistema en reposo absoluto hay la misma diferencia que entre la hora oficial de cada nación y la hora de Greenwich”<sup>128</sup>. Hay que indicar que en los años 20, este equívoco de confundir la relatividad del tiempo con las medidas en función del uso horario se dieron con cierta frecuencia. Aunque Palacios no cae en este error, nuevamente parece que juega a la confusión.

La recuperación de la hipótesis del éter también permite interpretar la acción gravitatoria como un factor de contracción en el éter, que era el causante de la curvatura de los rayos de luz. Esto ya se ha visto en el apartado anterior dedicado a la Gravitación.

En 1964 insiste en la necesidad de recuperar la hipótesis del éter y las acciones a distancia.<sup>129</sup> Ya vimos que en el prólogo del libro de 1960 hablaba de “la innegable acción a distancia”, pero no es hasta este trabajo donde intenta justificar esta idea. Analiza con profusión el inicio del artículo de Einstein de 1905 y critica que de la variedad de fenómenos electromagnéticos que se pueden dar, Einstein se fijó en el único que era favorable para el principio de relatividad y no considerara otros como el de la acción mutua entre una carga eléctrica y un circuito. En este caso lo que hay que señalar es que Einstein mostraba un caso en el que había incompatibilidad entre las leyes de la mecánica clásica y las electromagnéticas y es suficiente un ejemplo de incompatibilidad para intentar cambiar dichas leyes con el objeto de hacerlas compatibles. Palacios realiza un exhaustivo desarrollo de la deducción de las ecuaciones de Maxwell y llega a una solución de dichas ecuaciones compatible con la mecánica clásica y a su vez, incompatible con el principio de relatividad. Pero lo hace considerando que los campos se propagan con velocidad infinita. Él mismo destaca “Con nuestra solución, *todas las acciones a distancia en campos conservativos se transmiten con velocidad infinita, y quedan a salvo los principios fundamentales de la Mecánica*”<sup>130</sup>.

Vemos un caso más de la radicalidad de nuestro protagonista que, para salvar su concepción del espacio y tiempo absoluto, no duda en extraer conclusiones que rompen totalmente con la teoría clásica de campos, como es el mantener las acciones a distancia con velocidad infinita, aspecto que el mismo Newton veía como una dificultad de su teoría, dificultad que no se dio en la teoría de los campos eléctrico y

<sup>127</sup> A. Einstein “El problema del espacio, el éter y el campo en la física”, 1934, edición en castellano de *Mis Ideas y Opiniones*, Bon Ton, Antoni Bosch editor, Barcelona, 2000, p.251 y 252. El destacado es mío.

<sup>128</sup> Palacios, *Anales de Soc. Esp. Física y Quím*, 1960, p 206.

<sup>129</sup> Palacios, “El campo electromagnético en los sistemas inerciales móviles” *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v. 58, 1964, p. 103 a 141.

<sup>130</sup> *Ibíd*em, p. 113

magnético. En definitiva, parece soslayar el hecho incuestionable del estado de crisis de la física prerrelativista precisamente por el problema de incompatibilidad de la mecánica y el electromagnetismo clásicos.

En la cuestión de la propagación de las ondas electromagnéticas, Palacios se muestra claramente a favor de volver a la teoría del éter elástico:

La solución hallada en el § 2 [se refiere a la solución de la ecuación de Maxwell que implicaba acción a distancia con velocidad infinita] es válida mientras no haya cambios en la energía de la carga que produce el campo. En estas condiciones, el movimiento no alterará la energía total, cinética más potencial, de cualquier otra carga que se mueva bajo la acción de la primera, y el hecho de que las acciones se propaguen con velocidad infinita no vulnera el principio de conservación de la energía.

Las cosas cambian cuando alguno de los cuerpos del sistema emite energía electromagnética. La experiencia demuestra que esta energía se propaga en forma de ondas con velocidad finita, que en la teoría de la relatividad se supone ser invariable. Esta hipótesis está claramente en contradicción con la experiencia, pues el frente de la onda emitida por una antena tiene formas muy variadas, y el flujo de energía en la proximidad de la estación emisora es comparable al movimiento arremolinado de un fluido, en el que la velocidad en cada punto experimenta cambios incesantes. Tan sólo cuando el frente ha recorrido una distancia considerablemente mayor que la longitud de onda, se puede decir que las ondas están ya organizadas de tal modo que su velocidad de propagación es constante e independiente del movimiento de cuerpo emisor.

En los tratados de electricidad se demuestra que entre la infinidad de soluciones a las ecuaciones de Maxwell, hay una que corresponde a la propagación en el éter fijo de ondas que transportan energía con la velocidad  $c=1/\epsilon\mu$  y que están organizadas de modo que los vectores  $E$  y  $H$  son perpendiculares entre sí y forman un triedro rectángulo con la dirección de propagación. Se puede decir que, así como los medios elásticos organizan las ondas sonoras y les imponen una velocidad determinada por sus propiedades mecánicas, así también el éter organiza las ondas electromagnéticas y las obliga a propagarse con una velocidad determinada por sus constantes  $\epsilon$  y  $\mu$ .<sup>131</sup>

En otro texto de 1963, se resume perfectamente su pensamiento al respecto:

En la teoría ondulatoria hay que admitir la existencia de algo que ondule al paso de las ondas. Este algo se llama éter y sirve además para explicar las acciones a distancia, tales como la gravitación universal y las acciones electromagnéticas.

---

<sup>131</sup> *Ibídem*, p. 140 y 141.

[....] hemos reseñado lo que del éter dicen los relativistas. Como era imposible el acuerdo, salieron de tan embarazosa situación declarando tabú el nombre de éter y reemplazándolo por el del espacio físico.<sup>132</sup>

Anteriormente he comentado el mérito de Palacios como escritor pedagógico. Un ejemplo lo tenemos en su artículo ya citado “¿Existe el éter?”, donde realiza un resumen histórico de la hipótesis del éter que es una síntesis magnífica, repasando los comienzos de dicha hipótesis, la idea del éter como sólido elástico, el éter electromagnético, así como la contribución de Lorentz, a quien denomina “mi maestro” (recordemos que asistió a clases suyas en 1914).

#### *El uso del experimento de Kantor de 1962.*

En 1963 Palacios escribió el artículo “Óptica de los cuerpos en movimiento. Comentarios al experimento de Kantor”<sup>133</sup>, donde va a “exponer y comentar un experimento con el que se pretende haber demostrado la no validez de la teoría de la relatividad de Einstein”. El experimento al que se refiere es el de Kantor, publicado por este mismo autor en 1962 en *Journal of the Optical Society of America*, con el título “Direct First-Order Experiment on the Propagation of Light from a Moving Source “.<sup>134</sup>

Este experimento tuvo un cierto impacto en la comunidad científica internacional y Palacios lo explotó de forma contundente en contra de la relatividad. Como anécdota, Aguilar Peris en una conferencia impartida en Noviembre de 1980 sobre Palacios cuenta como

D. Julio estaba dando en la Facultad de Ciencias un curso de relatividad. El día que llegó a sus manos el documento que exponía la célebre experiencia de Kantor, D. Julio entró en clase y dijo a sus alumnos: “Vayan a secretaría y que les devuelvan el importe de la matrícula de esta asignatura. La relatividad ha muerto y estas clases carecen de sentido”.<sup>135</sup>

Previamente a analizar dicho experimento, Palacios hace un repaso de los antecedentes teóricos sobre la propagación de la luz en diferentes sistemas de referencia. También cita la propuesta no relativista de Ritz en 1908 para explicar la independencia de la velocidad de la luz respecto de la velocidad del foco emisor, denominada teoría balística.

Cuando en esta revisión Palacios llega a la ley de composición de velocidades de Einstein, en donde las velocidades no se componen vectorialmente como en la teoría clásica, dice “Puede demostrarse que, en buena lógica, son inadmisibles las fórmulas relativistas”. Es curioso que el mismo Palacios dice previamente que se llega a la misma ecuación de composición de velocidades tanto con las transformaciones de Lorentz como con las suyas, con lo que sin saberlo parece dar la razón a Ortiz

<sup>132</sup> Palacios, “Óptica de los cuerpos en movimiento”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1963, pág 254.

<sup>133</sup> *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1963, p. 237 a 289.

<sup>134</sup> *Jour. Opt. Soc. Am* (Vol. 52, N9, Sept 1962, p. 978). En realidad la primera referencia al tema por parte de Palacios apareció en ABC el 29 Noviembre de 1962 con el artículo “El hundimiento de una teoría”.

<sup>135</sup> J. Aguilar Peris, *D. Julio Palacios y el lenguaje de la Física*, ETS Ing. Caminos. Universidad de Santander. Santander 1981, p. 37.



Fornaguera<sup>136</sup> cuando dice que “si el sistema de postulados de Einstein está libre de contradicción interna, también lo está el de Palacios. Pero claro está, el recíproco también es cierto y si llegara a descubrirse una contradicción lógica en la teoría einsteniana, automáticamente quedaría de manifiesto una contradicción lógica en la de Palacios”. Nuestro protagonista describe en detalle el experimento de Kantor, descripción que intento sintetizar a continuación para mayor claridad.

El experimento de Kantor consiste en separar un rayo de luz colimada mediante una lámina semitransparente. Estos dos rayos, por sistemas de espejos, se hacen incidir en direcciones paralelas y sentido opuesto sobre otras láminas de vidrio que están montadas en un disco giratorio. Según la teoría de Einstein el movimiento de estas laminas no debe producir una alteración apreciable en las franjas de interferencia. Es decir la luz no debería tardar más tiempo en atravesar las láminas móviles cuando éstas se mueven en el mismo sentido que el rayo luminoso que cuando se mueven en sentido contrario y en definitiva, no debe haber alteración de las franjas de interferencia. En el experimento se apreciaron alteraciones de las franjas de interferencia, lo que invalidaría la constancia de la velocidad de la luz y, por lo tanto la teoría de Einstein que postula la independencia de la velocidad de la luz con la fuente emisora. Recordemos que Palacios, aunque defendía que la constancia de la velocidad de la luz no era una ley de la Naturaleza sí era un efecto de la medida, es decir que en cuanto a resultados él sí admitía anteriormente la constancia de la velocidad de la luz. De esta manera habría que concluir que este experimento refutaría tanto la teoría de Einstein como la de Palacios.

Palacios explica que Kantor intentó interpretar el resultado de su experimento mediante la teoría balística de Ritz. Evidentemente hay que contemplar que la alteración de las franjas de interferencia se deba a otros motivos ajenos a composición de velocidades, como la influencia de corrientes de aire motivadas por el giro del disco, pero Kantor encontró que esto no era determinante, por lo que, según Palacios, “lo averiguado por Kantor basta para desechar la fórmula einsteniana de composición de velocidades”. En buena lógica también se debe desechar la del propio Palacios, que también se basaba en la independencia de la velocidad de la luz respecto de la fuente emisora. Pero Palacios parece obviar esta conclusión, aunque se muestra ambiguo al respecto, porque propone que “estamos ante la necesidad de elaborar una nueva teoría sin base experimental suficiente y lo que procede es idear hipótesis de trabajo que permitan planear nuevos experimentos”. Es decir Palacios es consciente de la necesidad de revisión de su propia teoría de 1960, aunque se guarda de citarla expresamente.

Para el análisis compara este experimento con el que realizó Michelson con espejos móviles en 1913, en el que no se contradecía la teoría de Einstein. Pero para Michelson el resultado de que el movimiento de los espejos no afectara a la velocidad del rayo reflejado se interpretaba como prueba a favor de la teoría ondulatoria frente a la corpuscular o balística de Ritz, y a favor de la de Einstein. En cambio Palacios afirma que el experimento de Kantor, con láminas transparentes en movimiento, revela

---

<sup>136</sup> En su artículo “Comentarios a dos recientes artículos de J. Palacios”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 59, 1965, p. 439.

la naturaleza corpuscular de la luz y el de Michelson con espejos móviles la naturaleza ondulatoria. Cuando se presenta el carácter corpuscular es cuando se refutaría la teoría de Einstein.

En terminología que recuerda a la de Kuhn, Palacios habla de pugna entre tres teorías, la clásica, la de Einstein y la balística de Ritz, pero acusa a los relativistas de “no jugar limpio” porque según que experimento se analice o bien fracasa la clásica o bien la balística, pero nunca plantean el posible fracaso de la einsteniana:

Todo experimento crucial decide entre dos hipótesis en pugna. Por lo que tiene de aventura puede compararse a un juego a cara o cruz. En los experimentos interferenciales, Fresnel apuesta por su teoría ondulatoria y Ritz por su teoría balística. Es un juego limpio; si uno pierde, gana el otro. pero intervienen los relativistas con la pretensión de que si tanto pierde Fresnel como si pierde Ritz, gana Einstein. Este juego, con ventaja de un tercero que gana siempre sin arriesgar nada, se está dando desde hace más de medio siglo.<sup>137</sup>

Aquí olvida Palacios que probablemente la relatividad sea la teoría científica más sometida a prueba y refutación de la historia de la Ciencia<sup>138</sup>. Todo lo anterior, a pesar de que el propio Palacios reconoce que “el experimento de Kantor no tiene, ni con mucho, el grado de precisión logrado por Michelson en sus experimentos, por lo que debe ser acogido con cautela mientras no se repita y confirme”. Este planteamiento sí lo realizó Luis Ruiz de Gopegui<sup>139</sup> en una serie de artículos publicados en la revista INE en 1963, aspecto que se trata más adelante.

Para Palacios la clave del embrollo está en la consideración del análisis dimensional, por el que *cantidad* = medida  $\times$  *unidad*, de tal forma que en las ecuaciones de Einstein donde *c* aparece como constante, realmente no se debe considerar que sea una cantidad, sino una medida de la velocidad de la luz. El mismo problema se da por plantear incorrectamente las ecuaciones de Maxwell con el sistema de Gauss.

Aquí Palacios retoma el desarrollo histórico de la serie de experimentos de Michelson y Morley que fueron continuados por Miller, hasta que en 1925 se detectó un corrimiento de las franjas de interferencia, pero no se consideró por la ya establecida solidez de la relatividad. De todas formas el mismo Palacios dice que posteriormente al experimento de Miller, Michelson, Pease y Pearson repitieron de nuevo las medidas dando otra vez resultado negativo. También que posteriormente se realizaron experimentos con grandes avances en precisión, como el de Luis Essen y otros en la Universidad de Columbia en 1960, dando todos resultados negativos por lo que “se ha interpretado como una confirmación de la teoría de Einstein. Es de advertir, sin embargo, que si bien no la contradicen, no puede considerarse como una prueba”. En esto tiene razón Palacios, pero como decía Ortiz Fornaguera con mayor prudencia de la mostrada por Palacios “por el momento ningún hecho experimental comprobado

<sup>137</sup> Palacios, “Óptica de los cuerpos en movimiento”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1963, p. 258.

<sup>138</sup> Véase Clifford M. Will, *¿Tenía razón Einstein?* (1989)

<sup>139</sup> Doctor en físicas, trabajó en el CSIC y en el INTA y ha sido director de programas de la NASA en España.

apoya la teoría de Palacios que no se pueda explicar con el modelo de Einstein. (..) No quiere esto decir que no llegue un momento en que haya que abandonar la teoría de la relatividad, pero a ello conducirán, no cuestiones de interpretativa, sino nuevos hechos que no encajen en el modelo”.<sup>140</sup> En este mismo artículo sobre el experimento de Kantor vuelve a plantear Palacios sus propias ecuaciones de transformación, aunque sin referir que también contradicen los supuestos resultados.

Una crítica a Palacios sobre sus conclusiones acerca del experimento de Kantor vino de Ortiz Fornaguera en el artículo citado. Ortiz cita a Burcev, “On Kantor’s experiment” en *Physics Letters*, 5, 44 (1963) que explica el corrimiento observado por Kantor dentro del marco de la relatividad “ortodoxa” basándose en las relaciones  $E=hf$  y  $p=hf/c$ :

La interpretación relativista del experimento de Kantor que ofrece Burcev tiene el mérito de poner de manifiesto que del corrimiento observado no se sigue *necesariamente* la inaplicabilidad del modelo de Einstein. Además, conviene no perder de vista que las condiciones en que se llevó a cabo aquel experimento distaban mucho de ser las óptimas para una determinación cuantitativa, del todo necesaria para decidir si la interpretación de Kantor es o no correcta.<sup>141</sup>

A raíz de este artículo de Palacios sobre el experimento de Kantor, Luis Ruiz de Gopegui publicó varios artículos en la revista *INE (Revista del Instituto Nacional de Electrónica)*, donde ponía en duda las conclusiones de Palacios al respecto. Este interesante asunto lo trato en detalle en el apartado 4.7 dedicado a los debates en torno a la relatividad habidos en nuestro país.

#### *Electromagnetismo y relatividad: La influencia del Análisis Dimensional*

Uno de los temas clave en el pensamiento de Palacios respecto a la relatividad es el de la correcta expresión de las ecuaciones de Maxwell para que cumplan con el principio de homogeneidad, principio cuyo requisito es fundamental desde el punto de vista del Análisis Dimensional.

Conviene repasar los diferentes sistemas de unidades definidos históricamente para situarnos en el contexto adecuado. El propio Palacios, de forma brillante, expone en varios trabajos la evolución histórica de los sistemas de unidades. Es otro caso del esfuerzo de Palacios por sintetizar el desarrollo histórico de los temas que trata con criterio didáctico y claridad expositora. Ejemplos los tenemos en sus artículos de los años 40 que se han comentado anteriormente en el repaso de sus publicaciones.

---

<sup>140</sup> Ortiz Fornaguera, “Sobre una nueva teoría de la relatividad”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1964, p. 415.

<sup>141</sup> *Ibidem*, p. 414.

En síntesis, históricamente se han usado dos sistemas de unidades, el gaussiano o CGS, y el Internacional o MKS también conocido como Sistema Giorgi por haber sido propuesto por Giovanni Giorgi.<sup>142</sup>

El primer sistema absoluto de unidades fue establecido por Gauss y está basado en las unidades fundamentales de masa, longitud y tiempo. Se completó en 1873 estableciendo como unidades el centímetro, gramo y segundo, de ahí el nombre CGS. Este sistema distingue a su vez entre un sistema de unidades electromagnéticas y un sistema electrostático. En el primero se toma como cuarta unidad fundamental la permeabilidad magnética, que en el vacío se toma como unidad, es decir  $\mu_0=1$ . En el electrostático, en cambio, la cuarta unidad es la permitividad eléctrica y se establece que en el vacío sea la unidad, es decir  $\epsilon_0=1$ .

El sistema MKS considera como unidades básicas el metro, kilogramo y segundo. Giorgi postuló que tal sistema se podía usar en ecuaciones tanto electromagnéticas como electrostáticas considerando la permeabilidad en el vacío como  $\mu_0=4\pi 10^{-7}$ , con lo que se tomaba como cuarta unidad fundamental el amperio. Este sistema se adoptó en 1960 como Sistema Internacional de Unidades añadiendo las de grado Kelvin y la candela.

Las ecuaciones de Maxwell en el sistema Gaussiano son

$$\begin{aligned} \mathbf{D} &= \mathbf{E} & ; & & \mathbf{B} &= \mathbf{H} \\ \text{div } \mathbf{E} &= \rho & ; & & \text{div } \mathbf{H} &= 0 & [1] \text{ Ecs. Maxwell en CGS o Gauss.} \\ \text{rot } \mathbf{E} &= - (1/c) \partial \mathbf{B} / \partial t & ; & & \text{rot } \mathbf{H} &= (1/c) (\mathbf{j} + \partial \mathbf{D} / \partial t). \end{aligned}$$

y en el sistema de Giorgi o Internacional

$$\begin{aligned} \mathbf{D} &= \epsilon \mathbf{E} & ; & & \mathbf{B} &= \mu \mathbf{H} & ; c = (\epsilon \mu)^{-1/2} \\ \text{div } \mathbf{D} &= \rho & ; & & \text{div } \mathbf{B} &= 0 & [2] \text{ Ecs. Maxwell en SI o Giorgi} \\ \text{rot } \mathbf{E} &= - \partial \mathbf{B} / \partial t & ; & & \text{rot } \mathbf{H} &= \mathbf{j} + \partial \mathbf{D} / \partial t \end{aligned}$$

A lo largo de los años Palacios trató este problema de forma reiterada. Para Palacios, el sistema tradicional de expresar las ecuaciones de Maxwell según el sistema de Gauss induce a errores importantes que permiten dar solvencia a la teoría de Einstein. El problema es que con este sistema, al igualar a 1 la permitividad y la permeabilidad en el vacío se implica que la velocidad de la luz  $c = (\epsilon_0 \mu_0)^{1/2}$  se iguala a su vez a 1, lo que es una inconsistencia. Según Palacios si se escriben las ecuaciones de Maxwell correctamente, esto es en el Sistema Giorgi, se solventa el problema:

<sup>142</sup> Evidentemente el desarrollo histórico es mucho más complejo y aquí solo se sintetiza para una mejor comprensión del posicionamiento de Palacios al respecto. Para más detalle consultar Palacios, "Magnitudes y unidades electromagnéticas", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1941; Palacios, *Análisis Dimensional*, Apartado 17.8 Otros sistemas dimensionales, 1956, p 217; Alberto Benítez, *Factores de conversión de unidades*, 1975.

La cuestión cambia de aspecto si se escriben correctamente las ecuaciones de Maxwell. Entonces se dispone de dos constantes, la  $c$  y la  $\epsilon_0$ , y la equivalencia de todos los sistemas inerciales requiere que no sólo  $c$ , sino también  $\epsilon$  (y cualquier otra constante universal) sean invariantes. Hay pues, *a priori*, dos posibilidades: o se postula que todas las constantes universales son invariantes, con lo que resulta la teoría de Einstein, con todas sus dificultades lógicas, o se postula que la teoría no puede conducir al absurdo de los relojes y se deja a las constantes que cambien de valor al cambiar de sistema inercial.<sup>143</sup>

Palacios desarrolló extensamente la aplicación de las fórmulas de transformación para la densidad de carga, los potenciales electromagnéticos, la ley de Coulomb, la fuerza y el campo sobre una carga móvil. Expuso también la teoría tensorial del electromagnetismo, incluyendo el tensor ímpetu-energía en el vacío, demostrando las leyes de conservación de la energía y el ímpetu.

Sobre este problema referente a la correcta expresión de las ecuaciones de Maxwell, Palacios afirma que “las ecuaciones correctas empiezan lentamente a tener cabida en los libros”,<sup>144</sup> citando los de Sommerfeld de 1948 *Electrodynamics*, Straton de 1941 *Electromagnetic Theory* y el suyo propio *Electricidad y Magnetismo*. Pero repasando los textos de Straton y Sommerfeld, aunque es cierto que están con Palacios en cuanto a la forma correcta de expresar las ecuaciones de Maxwell, no se encuentra que este problema implicara incompatibilidad con la relatividad, o como dice Palacios, que

...el razonamiento de los relativistas einstenianos tiene un punto flaco en que, por lo visto, nadie ha reparado. Ocurre que todos, siguiendo al propio Maxwell, utilizan el sistema de Gauss-Weber para las ecuaciones del campo electromagnético, esto es

$$\text{div } D = \rho \quad ; \quad \text{div } B = 0 \quad [5]$$

$$\text{rot } E = - (1/c) \partial B / \partial t \quad ; \quad \text{rot } H = (1/c) (i + \partial D / \partial t).$$

en la que aparece tan sólo la constante universal  $c$ , que resulta ser la velocidad de propagación de las ondas hertzianas en el vacío. A la vista de estas ecuaciones, es de prever que la única manera de averiguar si nuestro laboratorio está en reposo absoluto o se mueve con movimiento uniforme, consistirá en medir la velocidad de la luz, y como resulta siempre la misma, por virtud del experimento de Michelson y Morley, hay que admitir que no existe nada observable que permita decidir si un sistema inercial se mueve o está en reposo absoluto. Resulta, pues, que las ecuaciones de Maxwell, escritas en la forma [5] conducen necesariamente al principio de la relatividad de Einstein.

Ahora bien, las ecuaciones [5], de las que Boltzman dijo que parecían estar dictadas por Dios, son inaceptables desde el punto de vista

<sup>143</sup> Palacios, *Relatividad. Una Nueva Teoría*, 1960, p. 196. No deja de ser paradójico que el capítulo IV de este mismo libro sí mantenía la invarianza de  $c$ .

dimensional, porque en ellas se fija el valor 1 para la permeabilidad magnética del vacío. Esto que, como dice Sommerfeld, podía ser buena matemática pero es mala física, ha sido causa de que Maxwell trastocase los nombres de los vectores  $B$  y  $H$ , de que Lorentz pusiese  $H$  en lugar de  $B$  en la fórmula que da la fuerza que actúa sobre una carga en movimiento, de que se haya creado una situación caótica en torno a la significación de ambos vectores y, finalmente, de que Einstein, al fundar su teoría sobre las ecuaciones [5], llegase a consecuencias metafísicas que han hecho ir de cabeza a los mejores matemáticos, físicos y filósofos de nuestro siglo, enzarzándolos en disputas que no llevan trazas de terminar.

Según hizo ver Sommerfeld, la manera correcta de escribir las ecuaciones del campo electromagnético en el vacío es:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \mathbf{D} &= \rho & ; & & \operatorname{div} \mathbf{B} &= 0 \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -\partial \mathbf{B} / \partial t & ; & & \operatorname{rot} \mathbf{H} &= i + \partial \mathbf{D} / \partial t \\ \mathbf{D} &= \epsilon_0 \mathbf{E} & ; & & \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{H} \end{aligned}$$

En las fórmulas correctas se ve que, además de  $c$ , se puede medir en el vacío la constante  $\epsilon_0$  (o la  $\mu_0$ ) y que tan solo cuando se compruebe que su valor no depende de la velocidad del aparato con que se efectúan las medidas, podrá afirmarse que rige el principio de relatividad de Einstein. Entre tanto, no sólo no está descaminado, sino que está indicado el desarrollar una nueva teoría de la relatividad que, sin presentar las dificultades lógicas de la de Einstein, conduzca a los mismos resultados que se consideran como comprobaciones experimentales de la misma.<sup>145</sup>

Sobre este argumento, parece que Palacios incluye a todos los relativistas como los que manejan las ecuaciones de Maxwell de forma errónea, lo que no es del todo cierto, ya que tanto Sommerfeld como Stratton plantearon también la cuestión de la correcta formulación de las ecuaciones de Maxwell, pero sin implicar por ello críticas a la relatividad. Tampoco consideraron que las ecuaciones de Maxwell en el sistema Giorgi, el más apropiado, implicara contradicción con la relatividad.<sup>146</sup>

En 1969 Palacios publicó dos artículos prácticamente idénticos, "Incompatibility of the theory of relativity with Giorgi's System of units"<sup>147</sup> e "Incompatibilidad del principio de homogeneidad física con la teoría de la relatividad"<sup>148</sup> en los que resume su tesis sobre que la teoría de la relatividad del campo electromagnético debe ser refutada porque está basada en un sistema de ecuaciones inconsistente con el principio de homogeneidad.

<sup>144</sup> Palacios, "Ensayo de una nueva teoría de la relatividad". *Las Ciencias. Revista de la Asociación española para el progreso de las ciencias*. 1958 v 23, p. 49.

<sup>145</sup> Palacios, *Ibidem*, p. 46 y 47.

<sup>146</sup> Sommerfeld, Arnold. *Electrodynamics. Lectures on Theoretical Physics, Vol III.*, New York, 1952. Ver Capítulos 7 y 8, donde trata los sistemas de unidades para el electromagnetismo, así como partes III (Teoría de la relatividad) y IV (Teoría de Maxwell para cuerpos en movimiento); Stratton, *Electromagnetic Theory*, McGraw-Hill, New York, 1941. En el apartado 1.8 trata los sistemas de unidades para el electromagnetismo.

<sup>147</sup> *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1969, v69, p. 467-476.

<sup>148</sup> *Libro Homenaje al Prof. D. Obdulio Fernández con motivo del Cincuentenario de su ingreso en la R. Academia*, R. Acad. Ciencias de Madrid, 1969, p. 165-175.

En estos artículos, además de mantener sus críticas a la relatividad, lo hace también, de forma contundente, a los acuerdos alcanzados en la comisión S.U.N (Símbolos, Unidades y Nomenclatura) de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (Doc. U.I.P 11, S.U.N. 65-3-1965) sobre lo que debe ser un sistema coherente de unidades. Vemos que el espíritu combativo de Palacios no se ceñía exclusivamente a la relatividad. Este problema sobre la conveniencia de elegir un sistema de unidades ya lo trató en 1964 en el artículo “Les unités électromagnétiques”<sup>149</sup>, aunque no con tanto énfasis en la crítica.

Explica que el hecho de que se haya adoptado el sistema de Giorgi, (también denominado sistema MKSA) implica que la permitividad eléctrica  $\epsilon$  y la permeabilidad magnética  $\mu$  deben tener dimensiones y por lo tanto la forma de escribir las ecuaciones de Maxwell es la de este sistema, y no la de Gauss. Pero apunta que Arzelies (en *Relativité Generalisée. Gravitation*, Rabat, 1961) ha demostrado, basándose en la teoría de la relatividad y en la ley de Coulomb, que dichas ecuaciones en el vacío no pueden contener las constantes  $\epsilon_0$  ni  $\mu_0$  por lo que las ecuaciones de Maxwell se deben expresar en el sistema de unidades gaussianas. Palacios no explica esta demostración de Arzelies, sólo dice que lo ha demostrado, pero no cómo. Además lanzó una dura crítica al colectivo científico en relación con este tema.

El aserto de Arzelies coloca a los relativistas en una posición incómoda, pues no se concibe el que la validez de una teoría quede supeditada al sistema de unidades que se adopte. Además, el sistema de Giorgi ha sido unánimemente aceptado nada menos que por seis organismos internacionales y tiene validez legal en las naciones adheridas a la Conferencia General de Pesas y Medidas, entre ellas España. Esto explica el que, a pesar de su importancia fundamental, se haya hecho el silencio en torno a las observaciones de Arzelies, hasta el punto de que una nota remitida por él para su publicación en los *Comptes Rendus* de la Academia de Francia, fue rechazada por los asesores, no porque hubiese en ella errores, sino por considerarla *inoportuna*.<sup>150</sup>

El razonamiento de Palacios se basa en que las ecuaciones de Maxwell en el sistema gaussiano no cumplen con el principio de homogeneidad, ya que las ecuaciones no son dimensionalmente correctas (como muestra durante el artículo). Como a su vez, según la relatividad las ecuaciones correctas son éstas y no las del sistema de Giorgi, esto implica que la relatividad, a su vez, incumple con el citado principio de homogeneidad, por lo que debe ser rechazada. Lo que no plantea Palacios es si por incumplir dicho principio, se debería aceptar las ecuaciones de Maxwell en el sistema aceptado por la comunidad internacional, es decir el de Giorgi, y analizar si éstas son compatibles con el principio de relatividad. Este análisis no lo realiza, dando por bueno el de Arzelies y no comentando los trabajos de otros autores, como por ejemplo Sommerfeld, que sí trataron este aspecto. Es un caso más en el que Palacios aprovecha cualquier circunstancia para ratificar su postura.

<sup>149</sup> *Anales de Física, Soc. Esp. Física y Quím.* v 60B, 1964, p 97.

<sup>150</sup> Palacios, “Incompatibilidad del principio de homogeneidad física con la teoría de la relatividad” (*Libro Homenaje al Prof. D. Obdulio Fernández*, R. Acad. Ciencias de Madrid, 1969, p. 166).

Al respecto, es de notar, que en su libro *Análisis Dimensional*, en la primera edición, presenta otros sistemas dimensionales para el electromagnetismo, alternativos al de Giorgi, como el de Gauss, sin plantear ninguna crítica ni incompatibilidad con el principio de homogeneidad (*Análisis Dimensional*, pág. 217). En cambio sí analiza este tema en la segunda edición de 1964, como ya vimos en el apartado 5.2 “Publicaciones de Palacios sobre relatividad”.

Vemos que Palacios primero parece aceptar el sistema de Giorgi, aunque critica que no se haya tenido en consideración el razonamiento de Arzelies, pero luego ataca a la Comisión S.U.N. por lo que considera una definición ineficaz de lo que debe ser un sistema coherente de unidades. La clave para decidirse por el sistema de Giorgi o el de Gauss para las ecuaciones de Maxwell es el principio de homogeneidad, por el cual las ecuaciones deben tener en sus términos la misma fórmula dimensional.

En cuanto a la definición adoptada por la Comisión S.U.N. sobre un sistema coherente de unidades (“Un sistema coherente de unidades es un sistema basado en ciertas unidades básicas, de las cuales se obtienen todas las unidades derivadas, por multiplicación o división, sin introducir factores numéricos”), Palacios pensaba que “esta definición es totalmente ineficaz, porque no se sabe cómo ha de formarse la base ni lo que significa el multiplicar o dividir unas unidades por otras. (...) Sin embargo, esta definición es la que ha servido de norma para formar el Sistema Internacional, que ha sido declarado de uso legal en España. En él se definen, con dudoso acierto, hasta seis unidades básicas”. Con este tema vuelve a usar expresiones descalificadoras, “Si a este embrollo se añaden las alambicadas e irrealizables definiciones del metro y del segundo, ¿quién será capaz de averiguar si los contadores de las compañías que suministran energía eléctrica miden correctamente los kilovatios-hora?”

Lógicamente, Palacios estudió las fórmulas dimensionales del campo electromagnético, donde se consideran las mecánicas longitud  $L$ , masa  $M$  y tiempo  $T$  y la electromagnética  $Q$ . La forma dimensional de las ecuaciones electromagnéticas es la siguiente

$$[E] = LMT^{-2} [Q]^{-1}$$

$$[D] = L^{-2} [Q]$$

$$[B] = MT^{-1} [Q]^{-1}$$

$$[H] = L^{-1} T^{-1} [Q]$$

$$[\epsilon] = L^{-3} M^{-1} T^2 [Q]^2$$

$$[\mu] = LM [Q]^{-2}$$

y este sistema de ecuaciones dimensionales está de acuerdo con la relación de la velocidad de la luz  $c = (\epsilon \mu)^{-1/2}$ .

En cambio, esto no ocurre con el sistema cegesimal de Gauss donde se atribuye el valor 1 a las constantes en el vacío  $\epsilon_0$  y  $\mu_0$  lo que daría, según Palacios, a  $c$  una



magnitud de dimensión nula e igual a 1 en cualquier sistema de unidades.<sup>151</sup> Pero, según su punto de vista, sería factible elegir la unidad arbitraria de carga para que  $\mu_0$  sea igual a 1, sin perderse la homogeneidad dimensional. De esta forma, se podría construir un sistema de unidades coherente con las ecuaciones de Maxwell en el sistema Giorgi, que, a su vez, con un cambio de variables pasarían a las del sistema Gauss. Posteriormente es fácil comprobar que en el sistema Gauss el resultado dimensional para la permeabilidad magnética en el vacío es  $\mu_0 = L^0 M^0 T^0$ , lo que hace evidentemente que no se satisfaga el principio de homogeneidad. De todas formas en este desarrollo Palacios ha partido a su vez de la condición de  $\mu_0 = 1$ , con lo que, en mi opinión, no queda nada claro el asunto.

#### 4.4.4. LA “CRUZADA” ANTIRRELATIVISTA DE PALACIOS

Al estudiar la evolución de los textos de Palacios resulta pertinente plantearse algunas preguntas: ¿por qué Palacios tardó tanto en empezar a criticar la relatividad?; ¿Realmente ya era antirrelativista antes y le parecía contraproducente criticar la relatividad en los años 20, años de recepción y entusiasmo, más cuando sus maestros Cabrera y Terradas eran relativistas convencidos?; ¿Esperó a que en España hubiera un ambiente favorable a su tesis en el entorno de la España franquista como sugiere Glick<sup>152</sup>?; ¿Esperó a la muerte de Einstein para comenzar su intento de refutación de éste?.

Sobre la primera cuestión, parece razonable pensar que si el motivo de Palacios para tardar tanto fuera no contradecir la corriente dominante, hubiera entonces empezado a publicar escritos antirrelativistas ya en los años 40, con Cabrera ya exiliado y Palacios principal físico español de la época. Y, en todo caso, si su pensamiento fuera ya antirrelativista pero decidía seguir esperando tampoco es razonable que hubiera publicado libros que incluían capítulos claramente dentro de la ortodoxia relativista, como, según hemos visto anteriormente, *Esquema Físico del mundo*, *Mecánica Física* o *Electricidad y Magnetismo*. Además, el único acercamiento de Palacios a la relatividad en los años 30, su artículo conjunto con Langevin de 1934, se puede considerar como relativista, aunque utiliza los principios de la relatividad de forma alternativa. Para confirmar este punto de vista transcribo algunas selecciones del artículo citado

El profesor P. Langevin es autor de un elegante método que permite deducir los teoremas fundamentales de la mecánica partiendo del principio de conservación de la energía y de la regla de composición de velocidades. Si estas últimas se componen vectorialmente, resulta la mecánica clásica; si, por el contrario, se adopta la regla de composición

<sup>151</sup> Recordemos que como cuestión de notación se ha acordado los símbolos  $\epsilon$  y  $\mu$  para la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética para cualquier medio genérico. Para el vacío se usan  $\epsilon_0$  y  $\mu_0$ .

<sup>152</sup> *Einstein y los españoles*, Alianza Editorial, Madrid 1986, p. 298.

impuesta por la constancia de la velocidad de la luz, se obtiene la mecánica relativista.<sup>153</sup>

En el desarrollo matemático de este artículo, al combinar el principio de conservación de la energía con la ley de composición de velocidades de la forma

$$v'_x = \frac{v_x + u}{1 + \frac{uv_x}{c^2}} ; \quad v'_y = \frac{v_y \sqrt{1 - u^2/c^2}}{1 + \frac{uv_x}{c^2}} ; \quad v'_z = \frac{v_z \sqrt{1 - u^2/c^2}}{1 + \frac{uv_x}{c^2}}$$

se obtiene toda la dinámica relativista, incluyendo la variabilidad de la masa, la inercia de la energía, la dinámica del fotón y el efecto Doppler en forma relativista.<sup>154</sup>

Vemos que, efectivamente, se usa un método diferente de obtener los resultados de la mecánica relativista, partiendo de unos principios usados de forma distinta, pero que son principios, como el de la composición de velocidades relativista, que a su vez se basan en los axiomas del principio de relatividad, es decir no son principios sustancialmente diferentes. Además, en las conclusiones del artículo, que sí fueron escritas directamente por Palacios (la parte principal era la transcripción de Palacios de la conferencia de Langevin) dice

El clásico experimento de Michelson y Morley puso de manifiesto que la velocidad de propagación de la luz es la misma para dos observadores A y B animados de una velocidad relativa  $u$  cualquiera. Ello exige que la regla de composición de velocidades sea tal que  $c$  se conserve invariante cuando se comunica a los ejes coordenados la velocidad  $u$ . La regla clásica de composición no cumple, evidentemente, este requisito, y por ello es preciso modificarla. Las fórmulas, en cambio, que corresponden a la transformación de Lorentz, dan un valor constante para  $c$ .<sup>155</sup>

Respecto a los escritos relacionados con teoría dimensional de los años 40, precursores de su *Análisis Dimensional* de 1956, de un análisis de estos textos se deduce que Palacios se sentía incómodo con el problema dimensional de la igualdad de la masa inercial y la gravitatoria, pero todavía no había construido en esos años ninguna crítica razonada a la relatividad. Si en esa época ya estaba reflexionando sobre el tema con espíritu crítico, no ha quedado prácticamente nada escrito al respecto, salvo su interpretación errónea sobre la unicidad del espacio y el tiempo en el Universo de Minkowski, como vimos en la contestación al discurso de recepción en la Academia de Ciencias de Enrique de Rafael, en 1943. Puede que en su fuero interno Palacios ya se sintiera crítico con la teoría de Einstein, pero esta idea sólo se podría comprobar con testimonios directos de esa época mediante archivos personales que, por desgracia, no he podido localizar. En lo que a lo publicado se refiere no se puede extraer ninguna conclusión determinante.

<sup>153</sup> "Deducción de la mecánica a partir del principio de conservación de la energía y de la regla de composición de velocidades (Conferencia del profesor P. Langevin en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central, con notas y adiciones por J. Palacios)". *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* 1934, v 32, p. 5.

<sup>154</sup> *Ibidem*, p. 10-16.

<sup>155</sup> *Ibidem*, p. 17.

En mi opinión, es más que posible que Palacios no hubiera reflexionado en profundidad en la relatividad precisamente hasta que, próximo a celebrarse el cincuentenario de los artículos de 1905 (se iba a celebrar en Suiza el primer congreso internacional sobre relatividad en 1955) resurgió su interés por el problema. Además coincidió que a raíz de la muerte de Einstein tuvo que escribir artículos para *ABC* y *Physicalia*. Por lo tanto creo que fue una circunstancia casual, ni mucho menos intencional, por parte de quien, siguiendo su trayectoria, no se puede dudar de su rectitud moral como para esperar la muerte de Einstein y empezar a criticar su obra. Sí es cierto que en los años previos trabajó sobre ello y es más que probable, que como él mismo decía, no entendiera la relatividad, pero a pesar de no entenderla no se planteaba dudas sobre su validez, como parecen demostrar los escritos durante los años cuarenta que he comentado anteriormente. Pero sobre esto volveré más tarde, ya que para esta reflexión se hace necesario repasar la opinión de Glick expuesta en su extraordinaria obra *Einstein y los españoles*. Veamos sus palabras textuales

Los resultados de los esfuerzos del régimen [franquista] por retrasar el reloj en la ciencia fueron desiguales. Darwin -de nuevo- y Freud fueron prácticamente prohibidos. La biología se enseñó como si la teoría evolucionista no existiese, y la teoría psicológica se tomó de seguidores de segunda fila de Kraepelin, ya que las declaraciones de cualquier principio freudiano eran desalentadas. En física experimental, quizá de forma no consciente, el programa del Consejo se hizo fuertemente operacional, en la medida en que la óptica -un tema del siglo XVII por excelencia- se convirtió en el principal foco de la investigación en los años 1940. El efecto en la relatividad no fue tan pronunciado, sin embargo, debido probablemente a que sobrevivieron con su *status* intacto tantos ingenieros conservadores favorables a Einstein. Terradas y Lucini publicaron, ambos, libros sobre la relatividad en los años 1940. Como contrapartida, la Falange reeditó el tratado antirrelativista de Félix Apraiz que había aparecido originalmente en 1921. Las revistas eclesiásticas que se habían mostrado antirrelativistas antes de la Guerra Civil siguieron después en la misma línea. Así, *Razón y Fe* publicó un largo artículo de Luis Prieto en 1941 que confundía la relatividad con el relativismo, reiterando y extendiendo las críticas de Pérez del Pulgar respecto de la velocidad de la luz e insistiendo en que la relatividad era simplemente un artificio de medida, un efecto aparente totalmente divorciado de la realidad física. (...)

Los puntos de vista sobre Einstein en la España de Franco estaban probablemente menos condicionados por la relatividad que por la antipatía del régimen. Aunque el físico no había estado inusualmente activo o franco en su apoyo de la República, su fama aseguró la notoriedad de sus pequeños esfuerzos y atrajo la cólera de los enemigos de la República.<sup>156</sup>

---

<sup>156</sup> Glick, *Einstein y los españoles*, 1986, p. 296 y 297.

Parece correcto pensar que, en los primeros años, Palacios tuviera dificultades. Él mismo lo afirma cuando recuerda los años de estudio con Terradas

Estudié con Terradas desde 1909 hasta 1912, y entonces parecía estar enteramente consagrado a la Física, (...) Tuve el privilegio de servirle de amanuense en sus traducciones (recuerdo, entre otras, la "Electricidad de Graetz"), y ello me dio ocasión, de admirarle de cerca. Emprendíamos la tarea por la mañana muy temprano y, mi primera ocupación, mientras llegaba el maestro, era hacerme sitio entre los libros y revistas que lo llenaban todo, y que él me forzaba a aceptar en préstamo en cuanto pensaba que alguno podía interesarme. Aún recuerdo las dificultades con que tropecé al leer uno de Minkowsky sobre la teoría de la relatividad, y que fueron tales que de cierto hubiera desistido a no sentirme obligado por las bondades del maestro y alentado con su apoyo. La relatividad y los cuantos de acción, las dos grandes teorías de nuestro siglo, eran sus grandes preocupaciones. Estudiaba sin descanso, extraía lo esencial de los innumerables artículos que aparecían en libros y revistas, daba a la materia unidad y método y luego la exponía en cursos de extensión universitaria.<sup>157</sup>

En este sentido también son interesantes sus siguientes palabras de 1961 donde parece que habla de sus sentimientos en su época de joven investigador, dándonos pistas de la evolución en su pensamiento o de que quizá siempre se mantuvo incómodo con la teoría pero no se arriesgó a criticarla.

El principio de relatividad pasó a ser una verdad incontrovertible. Ciertamente que hubo físicos, como Majorana, que, dando pruebas de solidez de criterio, se negaron a aceptarlo, pero toda tentativa en contra de los postulados de Einstein fue considerada con el mismo desprecio con que se juzgan los intentos de resolver la cuadratura del círculo o la trisección del ángulo.

Ante el imponente aparato matemático de la relatividad general y ante sus espectaculares éxitos, la actitud del físico medio, lo digo por mí, fue de fascinación mezclada con pavoroso respeto. En relatividad especial la cosa era más asequible (...) pero con la teoría general, después de devanarme los sesos, quedé anonadado ante su maravillosa y para mí impenetrable formulación matemática. Era para mí como una gran obra de arte que los no iniciados debíamos contemplar a respetuosa distancia.<sup>158</sup>

---

<sup>157</sup> J. Palacios, "Terradas, Físico" *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 44, 1950, p. 364.

<sup>158</sup> J. Palacios, "El enigma de la teoría de la relatividad. Parte I Los éxitos", *Arbor*, v 49, nº 185, Mayo 1961, p. 21 y 22.

En la segunda parte de este artículo “El enigma de la teoría de la relatividad” publicado en *Arbor*, bajo el epígrafe “estalla la crisis” afirma

La noticia de la muerte de Einstein conmovió al mundo y, como es natural consecuencia, renació la curiosidad por conocer las portentosas ideas de Einstein. Con ello han vuelto las viejas discusiones y todo parece indicar que la teoría relativista ha entrado en un periodo de crisis del que difícilmente podrá salir ilesa.<sup>159</sup>

Por lo tanto, parece conveniente repasar la interpretación de Glick, que al presentar la teoría de Palacios, la introduce diciendo que “los autores antirrelativistas encontraron en la España de los años 1950 y 1960 una atmósfera favorable para la publicación de sus contrateorías”. Aunque es cierto que la atmósfera de la época podía favorecer ciertas ideas reaccionarias en el ámbito científico, éstas se ciñeron más en el campo de las teorías antievolucionistas, que en el de la nueva física. No creo que haya influido la situación de España en esos años en Palacios para su pensamiento antirrelativista. Si hubiera sido así, con más motivo podía haber desarrollado su nueva teoría en los años 40, cuando todavía podía darse un ambiente más favorable para ello. Recordemos además que Terradas, convencido relativista, pudo volver a España precisamente gracias a las gestiones de Palacios. De la trayectoria de Palacios, creo que no se puede dudar de su honradez intelectual, por lo que no parece plausible que se apoyara en una determinada orientación del régimen, más cuando él mismo había tenido dificultades por su apoyo a la restauración de la monarquía.

Aun así, se hace conveniente mantener ciertas reservas en las conclusiones ante frases del estilo de la que apareció en el editorial del número exclusivo de *Physicalia* dedicado a Einstein con motivo de su muerte

En nuestra condición múltiple de físicos, de españoles y de católicos, no podemos ofrecer a Einstein como un modelo para el hombre medio de las generaciones futuras, pero sí hemos de recordar y alabar las innumerables facetas excepcionales que hubo en su vida.<sup>160</sup>

También la prensa española, con motivo de su muerte, reflejó cierta animadversión hacia Einstein, pero principalmente por cuestiones estrictamente ideológicas, como su apoyo a la causa republicana.<sup>161</sup>

Pero en defensa de mi tesis, consistente en que a pesar de haber podido influir el ambiente de la época para recuperar los ataques de los años 20 a la relatividad, en realidad no fue así, está el hecho de que dos autores de este número monográfico sobre Einstein, José Baltá Elías y José Gallego Díaz, aunque con esa frase ciertamente de dudosa interpretación, fueron posteriormente defensores de la relatividad. De los cuatro escritos aparecidos en *Physicalia* dedicados a Einstein, sólo

---

<sup>159</sup> J. Palacios, “El enigma de la teoría de la relatividad. Parte II La crisis”, *Arbor*, v 48, nº186, 1961, p. 25.

<sup>160</sup> *Physicalia*, *Boletín de la asociación Nacional de Físicos de España*, 1955, nº19, editorial, pág II.

<sup>161</sup> Ver Glick, *Einstein y los españoles*, Madrid, 1986, p. 298. “La muerte de Einstein promovió un cierto número de comentarios hostiles en la prensa española”. A continuación Glick resume un artículo de Augusto Assia en *La Vanguardia*.

el de Palacios mostraba dudas sobre la relatividad.<sup>162</sup> Además, creo haber demostrado en los apartados anteriores la casi unanimidad entre los científicos españoles en favor de la relatividad.

Otro autor de este número de *Physicalia*, José Gallego Díaz, polemizó con Palacios en las páginas de *ABC*, con su artículo “Einstein tenía razón” (8 Nov. 1963), a raíz del supuesto “derrumbe” de la relatividad por los resultados del experimento de Kantor. Este artículo, por su interés en el ámbito de los debates en los que fue protagonista Palacios, lo transcribo en el apartado 4.8 dedicado a los debates.

Más que el ambiente de la España de los años 50, lo que sí pudo influir en Palacios fue el contexto internacional, en unos años en los que se retomó la polémica de la paradoja de los relojes, especialmente en Estados Unidos. Palacios estaba al día de las diferentes publicaciones científicas y en 1956 refleja ya en un artículo la famosa polémica entre Dingle y McRea aparecida en *Nature*. En su trabajo de 1957 publicado en *Anales* desarrolla en profundidad dicha polémica y cita referencias de George Thomson, H. Dingle, P.S. Epstein, Leopold Infeld (colaborador de Einstein), McRea, E.L Hill, Milne y Whitrow, Jellineck, Tolman, C. Möller, Crawford, Jánosy, Sommerfeld, Rossi, Hilberry y Hoag, Rasetti, Blackett, H.Ticho, Ruy Luiz Gomes, Robertson, Ives y Stilwell, muchos de ellos antirrelativistas. En cuanto a las revistas en la que publicaron estos autores citados, con referencias de los años treinta a cincuenta del siglo XX, es interesante señalar que están entre las más prestigiosas de física, *Nature*, *American Journal of Physics*, *Physical Review*, *Review of Modern Physics*, *Proceedings of the Royal Society Section Mathematical and physical sciences*, *Journal of the Optical Society of America* y *Philosophical Magazine*.

En definitiva, del análisis de los trabajos de Palacios a lo largo de los años, sí se puede concluir, como veremos a continuación, que Palacios había pensado en la relatividad y que reconocía problemas de comprensión, pero ni era uno de sus temas de reflexión prioritarios ni esperó para trabajar en una teoría alternativa de forma premeditada por cuestiones ajenas a principios epistemológicos. Simplemente, la coincidencia de la muerte de Einstein y el hecho de no trabajar ya en física experimental (en este aspecto la situación de destrucción de la física española como consecuencia de la Guerra Civil sí influyó), le permitió dedicarse por completo a este tema. Al hacerlo, sí influyeron de forma determinante sus dificultades de comprensión de la relatividad por mantenerse fiel a su posición filosófica que el mismo denominaba “realismo ingenuo”.

Palacios trató reiteradamente el problema de “entender” la relatividad. El siguiente ejemplo es representativo

Una de las situaciones más desairadas en que nos encontramos a veces quienes nos dedicamos a la enseñanza, se presenta cuando explicamos algo creyendo haberlo entendido y ocurre que, lo que nos parecía claro, resulta a la postre perfectamente ininteligible. Esta observación nos fue sugerida por la afirmación hecha por cierto cronista en un periódico español, con ocasión del fallecimiento de Einstein, según la cual, de

---

<sup>162</sup> Se ha tratado el contenido de este número de *physicalia* en el capítulo 5.

cuantos asistieron a las conferencias de dicho sabio en Madrid el año 1923, tan sólo se enteró Ortega y Gasset. Este juicio encierra un agravio para físicos y matemáticos de la talla de Terradas, Cabrera y Plans, y, si fuese cierto, colocaría a Ortega en la desairada posición a que nos hemos referido. Pero lo ocurrido fue justamente lo contrario. Nadie, sino los físicos, pudo captar el alcance de la teoría einsteniana, pues, para ello, era preciso saber a fondo en qué consiste el efecto de Doppler-Fizeau, el cambio del índice refractivo de los cuerpos en movimiento, la aberración de la luz estelar y el conflicto que se presentaba cuando se trataba de compaginar todo ello con el resultado del experimento de Michelson y Morley. Y en cuanto a la armazón matemática de la teoría, nuestros matemáticos estaban capacitados para seguirla sin dificultad, como lo demostraron en los coloquios celebrados con Einstein en el Seminario Matemático de la Junta para Ampliación de Estudios.

Lo ocurrido en la conferencia de divulgación dada por Einstein en la Residencia de Estudiantes es ya otro cantar. Al público apasionaba el aspecto metafísico de la teoría, lo que Einstein afirmaba acerca del tiempo y del espacio, cuestiones que provocaron división de físicos y filósofos en relativistas y anti-relativistas. La escisión dura todavía, y es prueba de que la cosa no estaba ni está todavía perfectamente clara. Por otra parte, el propio Einstein dice en la célebre memoria en que expone los fundamentos de la teoría general de la relatividad, que «no pretende presentarla como un sistema lógico sencillo». Además, Einstein hablaba en alemán y a todo señor todo honor, Ortega, que manejaba este idioma tan bien como el nuestro, servía de traductor en la conferencia. Y sucedió lo que era de prever por cualquiera que conociese a nuestro gran pensador y compatriota. Ortega se encontró ante un dilema: o traducía fielmente lo que decía Einstein, con la seguridad de que nadie lo entendería, o sacrificaría la fidelidad a la claridad. Y todos sabemos que Ortega no podía dejar de ser claro por nada del mundo, y así sucedió que actuó a manera de filtro que da siempre agua cristalina. Esto ocasionó una amena discusión entre el conferenciante y el traductor, que puso de manifiesto que Ortega se negaba a entender lo que no podía entenderse.<sup>163</sup>

De forma insistente hablaba sobre la relación de la física con “el misterio” y el carácter intuitivo de las teorías. Ya en 1947, en su libro *Esquema físico del mundo*, donde no asomaba un atisbo de crítica a la relatividad, Palacios afirmaba:

La física se ha hecho misteriosa. En lugar de la física racional del pasado siglo, nos encontramos con la mecánica relativista y con la mecánica de ondas, que están llenas de enigmas. Preguntar si con ello el nuevo esquema físico del universo es más real que el primitivo es como preguntar si a fuerza de completar y ordenar el archivo biográfico de un sujeto se podría conseguir tenerlo de carne y hueso. La física nunca

---

<sup>163</sup> En “Ensayo de una nueva teoría de la relatividad”, *Las Ciencias. Revista de la Asociación española para el progreso de las ciencias*. 1958 Vol. XXIII p. 39 a 49. Las novedades respecto de otros artículos es que comenta las conferencias de Einstein de 1923 con Ortega y Gasset de traductor, en las que él mismo estuvo presente. Por ser testigo directo y comentar el hecho 30 años más tarde resulta interesante transcribir las propias palabras de Palacios.

pasará de ser un esquema de la realidad; es de la realidad, pero no es la realidad.

La imagen que del universo nos daba la física clásica era intuitiva. [...] Pero esto no sucede ya con la nueva física, y por eso la denominación de imagen física del mundo resulta inadecuada, porque se trata de algo inimaginable, de algo que no podemos ver mirando hacia dentro y que sólo es abordable a través de abstrusas fórmulas matemáticas. Llamémoslo esquema físico del mundo, de acuerdo con Zubiri.<sup>164</sup>

En el prologo de este libro plantea que en el siglo XIX se logró separar la física de la filosofía porque aunque lo que se fue descubriendo cada vez era más complicado desde el punto de vista matemático, era perfectamente interpretable con nuestra razón. Pero con la física del siglo XX se ha tenido que “volver atrás, al terreno de los principios, a la frontera de la filosofía”, precisamente por las dificultades de comprensión de la *nueva Física*. Se refería tanto a la Física Cuántica como a la relatividad, pero sin implicar por ello un rechazo en estos años.

Hemos visto que el primer texto donde ya aparecen dudas importantes fue “El lenguaje de la Física y su peculiar filosofía” en 1953. Parece que estas dudas van implícitas por su concepción de la física asociada al realismo ingenuo:

El lenguaje utilizado hasta ahora por los físicos corresponde a un punto de vista que califico de realismo ingenuo, y puede ser considerado como la filosofía que ha regido el pensamiento físico y con la que esta ciencia ha adquirido tan maravilloso desarrollo.<sup>165</sup>

La relatividad nos privó del éter. Por si esto fuera poco, se pretende que no existe el espacio absoluto, porque no hay experimento que permita decidir si estamos en reposo o si nos movemos con movimiento rectilíneo y uniforme. En mi opinión, lo que se deduce de la teoría de la relatividad no es la inexistencia del espacio absoluto, sino la imposibilidad de distinguirlo, cosa que no afecta al concepto que de él tengamos formado.<sup>166</sup>

Es decir, Palacios acepta que no se puede distinguir el espacio absoluto, pero su visión basada en el “realismo ingenuo” le impide aceptar su inexistencia. Años más tarde hemos visto como sí consideró la posibilidad de distinguir el espacio absoluto. El primer rechazo a la relatividad en Palacios viene por la creencia en unas ideas de espacio y tiempo asociadas al realismo ingenuo, pero admite el carácter “operacional” de la relatividad en cuanto a dichas ideas, la imposibilidad de caracterizar o medir dichos espacio y tiempo absolutos. Años más tarde ni siquiera admite esta restricción.

En 1955, en su artículo ya citado en *Physicalia*, volvía a insistir en el mismo sentido. Empieza Palacios por plasmar las dificultades de comprensión de la relatividad, un aspecto como vimos ya usado como tópico antirrelativista en los años 20. Según Palacios, la división que creó en su día la nueva teoría, entre físicos y filósofos a favor

<sup>164</sup> Palacios, *Esquema físico del mundo*, Ediciones Alcor, Madrid, 1947, p. 18.

<sup>165</sup> Palacios, “El lenguaje de la física y su peculiar filosofía”, Discurso de recepción en la *Real Academia Española* Madrid, 1953, p. 8.

<sup>166</sup> *Ibidem*, p. 63



o en contra de la relatividad “dura todavía, y es prueba de que la cosa no estaba, ni está todavía, perfectamente clara”.<sup>167</sup>

Palacios reconoce que las objeciones “no se refieren ni a su aspecto físico ni a su envoltura matemática” y que las confirmaciones experimentales, respecto a la teoría restringida son satisfactorias. Para Palacios, y creemos que aquí está la clave de su pensamiento, de su lucha titánica y su intento de construir una teoría alternativa a la de Einstein y rigurosa, “Las dificultades aparecen cuando,..., tratamos de formarnos una imagen intuitiva del universo físico”. Palacios elogia a los que en su momento dijeron no entender la teoría, como Ehrenfest, y hasta utiliza textos del propio Einstein, pero en mi opinión son usados erróneamente, porque se refieren a su búsqueda de una teoría de campo unificado, que como sabemos fue infructuosa.

Uno de los problemas tratados es respecto a si la contracción de longitudes es aparente o real, para lo que se apoya en un texto del matemático francés Pierre Dive de 1939. Palacios critica de la teoría de Einstein que nunca se podrá hacer ninguna medida con metros rígidos (para que no varíe su longitud por someterse a fuerzas de aceleración), es decir que Einstein opera con metros metafísicos. Aquí creo que Palacios no entiende que Einstein trabajaba con experimentos mentales. Los experimentos reales no se pudieron hacer hasta muchos años más tarde. Lo mismo critica Palacios respecto de las medidas de tiempo, afirmando que Einstein las haría con relojes igualmente metafísicos. Este razonamiento es prácticamente idéntico al del artículo publicado en *ABC* “Los relojes de Einstein” de 21-6-1955. Palacios recurre una vez más al problema del misterio,

..pero la fuerza de los hechos ha obligado a sentar las diversas teorías físicas sobre postulados que escapan a nuestra inteligencia y que, por ello, deben denominarse misterios. Einstein no pretendió explicarlos, sino formular las leyes fundamentales de modo que se cumpliera el postulado de covarianza. Con su teoría restringida lo logró para la dinámica y el campo electromagnético y, de paso, logró descubrir hechos como el de la inercia de la energía, que han iniciado una nueva era. Al generalizar la teoría, logró aprehender el campo gravitatorio, pero se le escapó de las mallas el electromagnético. Cerca de cuarenta años ha trabajado su prodigioso cerebro tratando de recapturar al prófugo y, al final, anuncia haberlo conseguido. Pero no logró la manera de comprobar experimentalmente su nueva teoría, lo que significa que no conoce ningún fenómeno cuya explicación se logre con ella y no con las precedentes. Con su admirable construcción teórica, modelo de lógica matemática, satisfizo Einstein su anhelo de unificar los diferentes procesos físicos sometiéndolos al postulado de covarianza, pero los misterios de la física quedan por aclarar. A quien no domine la matemática le está vedada esta teoría, pero puede consolarse pensando

---

<sup>167</sup> Palacios, *Physicalia*, 1955, p. 3.

que los matemáticos pueden estudiarla, aprenderla y hasta perfeccionarla, pero no entenderla, cuando menos en su forma actual.<sup>168</sup>

Creo que Palacios lleva demasiado lejos su teoría del misterio, incluso con un sentido metodológicamente anticientífico, ya que, en mi opinión, si los científicos se resignaran a aceptar los misterios, tal como parece defender Palacios, la Ciencia no hubiera avanzado mucho. Me refiero a ejemplos como el aparecido en el mismo artículo indicado, y que se repetirían sucesivamente, donde defiende unas ideas que expresan la dificultad, para Palacios, de entender la teoría de la relatividad. Esta dificultad, reconocida por él mismo, lo que le honra, le hace reflexionar sobre el significado que se da a “entender una teoría” y sobre los hechos que él, dice, prefiere considerar misterios y como tal hay que aceptar porque “vale más un misterio claro y rotundo que una confusa teoría con la que se pretende explicar lo que está fuera de nuestra capacidad de raciocinio”<sup>169</sup>.

Su concepción realista la relacionó también con el problema dimensional y el de las geometrías válidas. En una conferencia de 1959<sup>170</sup> reflexiona sobre la validez de diferentes sistemas de axiomas de la geometría y realiza una síntesis del desarrollo de geometrías no euclídeas, que en principio pueden ser aceptables a priori, sin considerar si representan a la realidad. Igualmente valora el genio de Einstein por plantear el que se puedan proponer mecánicas alternativas a la clásica de Galileo y Newton. Pero la diferencia entre las ecuaciones de la matemática pura y las de la geometría y la física es que éstas últimas deben cumplir un requisito de homogeneidad. Defiende la necesidad de una teoría que diese fundamento al principio de homogeneidad y sus consecuencias, y esta teoría es el análisis dimensional. Más necesario es aún cuando se considera que en física no se opera con el espacio y el tiempo como entes abstractos sino como magnitudes físicas con medidas asociadas. Por lo tanto respecto al espacio se opera con longitudes, áreas y volúmenes y respecto al tiempo con duraciones.

En cuanto a la relación entre el pensamiento realista y el problema del vacío, ya vimos que para Palacios hay que distinguir entre el vacío abstracto y el vacío físico, al que se le puede conceder realidad física porque, por ejemplo, en él se pueden medir magnitudes como la permitividad eléctrica, la permeabilidad magnética y la velocidad de la luz. Además estas magnitudes están relacionadas, según la teoría electromagnética de Maxwell, mediante la ecuación  $c = (\epsilon_0 \mu_0)^{-1/2}$ . Esta idea hace que el espacio tenga estructura y es lo que se identifica con el éter. Por lo tanto “lo indicado es poner las cosas tal como estaban en los tiempos en que W. Thomsom (Lord Kelvin) y GP.Tait sugerían que el centro gravitatorio de toda la materia que constituye nuestro universo (ahora habría que tomar en consideración la masa gravitatoria debido a la energía) podría ser considerado como en reposo absoluto”<sup>171</sup>. En definitiva, que

<sup>168</sup> Palacios, *Physicalia*, Num 19, 1955, p. 8.

<sup>169</sup> Palacios, *Relatividad. Una nueva teoría*. Madrid, 1960, p. 10.

<sup>170</sup> “El espacio y el tiempo en la teoría de Einstein”, conferencia de Julio Palacios en la segunda reunión publicada en las actas en 1959 bajo el título *Segunda reunión de aproximación filosófico-científica* (CSIC, Ed Fernando el Católico 1959).

<sup>171</sup> Palacios, *Anales de Física, Soc. Esp. Física y Quim.*, 1960, p. 203.

además del éter como estructura del espacio tendríamos la recuperación de la idea del éter como referencial absoluto.<sup>172</sup>

Respecto al realismo de las leyes físicas, un artículo muy interesante en el que trata en profundidad este problema es “Ficción matemática y realidad física” (*Atlántida*, 1963). Esta revista es de temas culturales y de inspiración religiosa, por lo que el artículo de Palacios es de divulgación. Aun así su interés reside en que en este texto se puede deducir que el rechazo a la relatividad es por motivos filosóficos, concretamente por su defensa de lo que él mismo denomina realismo ingenuo. Así, aunque reconoce que “el espacio ideado por Minkowski es utilísimo” cree inadmisibles que pueda representar la realidad, al contrario de lo que ocurre con el espacio en tres dimensiones en donde sí se puede distinguir de la ficción matemática.

El comienzo del artículo, bajo el epígrafe “el campo de la realidad física” es un intento de justificación de su pensamiento realista respecto a las leyes de la Física. Dice así Palacios:

la Física trata de elaborar teorías que, mediante definiciones y postulados enunciados en forma de ecuaciones matemáticas, permitan deducir las leyes que rigen todo lo que de observable y medible hay en el Universo en que vivimos, esto es, en el Universo tal como es y no tal como pudiera ser. Si nos atenemos al lenguaje común, podemos llamar realidad lo que el Universo tiene de perceptible, y real todo lo que concierne a la realidad.<sup>173</sup>

Con este planteamiento realista, en principio sólo pueden tener cabida en la Física las magnitudes que o bien son perceptibles directamente, como la velocidad o temperatura, o bien se manifiestan por algún efecto medible, como la energía o el campo gravitatorio. En relación con este problema se presenta el de la consideración del espacio como entidad física. El espacio vacío, aunque imaginable por abstracción, en principio no contiene nada observable ni medible por lo que estaría fuera del dominio de la física. Pero en el espacio físico sí se puede medir la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética.

Sí, para atribuir realidad física a un objeto, adoptamos como criterio la posibilidad de hacer medidas en él, tenemos que admitir que en todo recinto vacío hay algo, y si se le da el nombre de éter resulta que el éter tiene existencia física real. Para Palacios hay que distinguir entre el espacio vacío del todo, que no tiene realidad física, y el espacio físico, que está lleno de un éter real llamado éter.<sup>174</sup>

Volviendo al problema del realismo

El que el dominio de la Física se limite a los entes reales, no excluye que utilice como medios todos los recursos mentales y, en particular, todas las ficciones matemáticas mientras sean útiles. Pero los físicos no tienen

---

<sup>172</sup> Palacios. “Los postulados de la nueva teoría de la relatividad” *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, 1960.

<sup>173</sup> Palacios, “Ficción matemática y realidad física”, *Atlántida*, 1963, p. 642.

<sup>174</sup> *Ibidem*, p. 642.

la virtud de convertir en reales dichas ficciones por el solo hecho de utilizarlas.<sup>175</sup>

Su planteamiento lo aplica a la geometría, a la que denomina *Geometría realista*, y ésta solo puede ser euclídea, que, al contrario de las geometrías no euclídeas o curvas, no es una libre creación humana, sino un descubrimiento. Reconoce la utilidad de las modernas geometrías como ficción matemática, pero para estas geometrías, no puede haber cabida para la intuición; por ejemplo, nadie puede formar una imagen mental de una hipersuperficie, porque no está asociado a una idea intuitiva. A los que usan geometrías curvas Palacios los denomina *geómetras puros*, frente a los *geómetras realistas*, que son los que se basan en la geometría euclídea.

Este es el motivo que le hace rechazar el universo espacio-temporal de Minkowski. Además, el uso de este artificio matemático que es el universo tetradimensional enmascara la contradicción implícita en los postulados de Einstein. Para Palacios, este enmascaramiento agrava la situación cuando no puede caber en la realidad “el fundir en un sólo crisol el espacio con el tiempo, el confundir la aceleración con la gravitación y la masa inerte con la masa gravitatoria”. En mi opinión, desde el punto de vista de un “realista ingenuo”, el razonamiento de Palacios para rechazar el universo de Minkowski tiene solidez lógica, pero no el afirmar que la relatividad confunde espacio con tiempo, lo que no es cierto, como se ha visto en el apartado “las claves temáticas”.

Insiste en la interpretación realista de la física matemática al afirmar que

La gran ventaja del simbolismo matemático es su universalidad, esto es, su validez en todos los idiomas. Ciertamente que cuando se aplica en Física necesita una clave para ser descifrado, pero ello es incumbencia de los físicos, no de los matemáticos.<sup>176</sup>

Esta claro que para Palacios esta clave “descodificadora” se debe basar en el realismo “ingenuo”, en la representación intuitiva según nuestro esquema mental.

En el libro homenaje a Palacios con motivo de su fallecimiento, Laín Entralgo resume el pensamiento de Palacios al respecto

Pero además de ser españolazo de Paniza, amante de su pueblo y patriota a la antigua usanza -esa en la cual podrían unirse el almirante Cervera, el músico Albéniz y el histólogo Cajal-, don Julio Palacios era físico, un físico que allende su personal eminencia científica tenía sus ideas personales acerca de la relación entre el saber físico y la realidad, y un hombre en cuya alma latía, tanto en el sentido religioso de la frase como en un sentido a la vez cosmológico y metafísico, aquella «sed inextinguible de absoluto» que el portugués Antonio Sardinha nos atribuyó un día a los hombres de España; y todo esto, para su honor y para su drama, operaba con energía en su alma a la hora de entender físicamente el mundo y decir, ya no como simple orientador del pueblo menudo, sino como hombre de ciencia doblado de académico, lo que las palabras verdaderamente significan.

---

<sup>175</sup> *Ibidem*, p. 643.

<sup>176</sup> *Ibidem*, p. 647.

Frente a los relativistas, Palacios, fiel en lo esencial a Newton, aunque en algunos puntos le corrigiera, creía en el tiempo absoluto (el que por su propia naturaleza transcurre uniformemente y sin referencia a cualquier objeto exterior) y en el espacio absoluto (el que por su propia naturaleza y sin relación con cualquier objeto exterior permanece siempre igual a sí mismo e inmóvil); y estoy seguro de que la fórmula teológica del espacio que propuso el cristiano Newton -el «ilimitado y homogéneo sensorio de la Divinidad»- conmovía secretamente el alma de físico y de cristiano de nuestro don Julio. Era, en suma, un hombre de ciencia que no vacila en llevar hasta sus últimas consecuencias lo que se ha llamado el «realismo ingenuo» -recordad el mote con que solía difundir sus opiniones en la prensa diaria- y que sobre esa convicción, a la vez física, metafísica y teológica basaba los conceptos fundamentales de su saber: espacio, tiempo, magnitud, cantidad, dimensión, distancia, duración, etc. En definitiva, un físico que aspiraba a expresar verdadera y coherentemente la realidad del mundo según los cuatro planos en que él quería que se moviese su inteligencia: el correspondiente a la que él llamaba -véase el más prestigioso de todos sus libros, su «Análisis dimensional»- «definición cualitativa o epistémica del ente en cuestión», la cual debe ser, según su propia fórmula, anterior a toda ley física e independiente de ella; el relativo a la Física que con Heisenberg él denominaba «abstracta», esa -de nuevo recurro a sus palabras- «en que se cree en la posibilidad de formular leyes para los procesos naturales de manera precisa y simple, leyes que no derivan directamente de las medidas, sino que han sido establecidas por abstracción»; el constituido por las leyes que experimentalmente pueden establecerse entre los observables cuando éstos son sometidos a medida, y que de ordinario todos llamamos «-leyes físicas»; y en cuarto y último lugar, el de la realidad misma, como necesario y radical sustrato metafísico de nuestras sensaciones, nuestras medidas y nuestros cálculos. De ahí su abierta hostilidad intelectual contra Bridgman, autor del «Análisis dimensional» hoy más en boga, para el cual «las dimensiones no tienen en modo alguno carácter absoluto, sino que han de definirse a partir del proceso que se utilice para medir la magnitud respectiva»; y más ampliamente contra la concepción «operacional» de la ciencia; y, en definitiva, contra los negadores, en nombre de la teoría de la relatividad del derecho físico a hablar científicamente, como tal físico, de un «espacio absoluto» y un «tiempo absoluto».<sup>177</sup>

### *Los debates.*

En cuanto a los debates en los que se vio inmerso Palacios, considero este asunto de especial interés. Tradicionalmente, los historiadores de la Ciencia han tratado con especial relevancia los debates habidos entre los científicos protagonistas de la disciplina en estudio. En el caso que nos ocupa, con un físico español que lucha contra la ortodoxia establecida sobre la relatividad, parece obligado estudiar los

---

<sup>177</sup> Laín Entralgo, «Intervención de D. Pedro Laín Entralgo», *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 64, 1970, p. 686.

debates científicos en los que fue protagonista Palacios (directa o indirectamente), analizando en detalle los escritos en los que se reflejaron polémicas, tanto suyos como de otros físicos españoles o extranjeros. Ciñéndonos al terreno exclusivamente científico, los escritos que reflejan una polémica directa con otro autor son escasos. A continuación se resumen los casos conocidos por haber trascendido mediante publicaciones, aunque no todas en medios científicos.

- Ortiz Fornaguera en la *Revista de la R. Acad. Ciencias de Madrid*,
- J.E. Romain en *Nuovo Cimento*.
- Cullwick en *Electronics and Power*, y en *R. Acad. Ciencias de Madrid*
- Participación testimonial de Palacios en el debate múltiple entre varios científicos bajo el título "Spot the fallacy", en la revista inglesa *Electronics and Power*.
- Gopegui en la revista del *INE*.
- Posible debate en la *Asociación Nacional de Físicos Españoles* (según información de su medio de difusión *Physicalia*.)
- Debates por correspondencia privada.
- Arzelies
- J. Gallego Díaz en *ABC*

Sin lugar a dudas, el más interesante en el ámbito de la Historia de la ciencia española fue el primero de los indicados, con Ortiz Fornaguera, por ser el único de todos los debates conocidos que implicó varios artículos de contestación por cada uno de los protagonistas, y, además, por realizarse en la misma publicación española en la que Palacios desarrolló la mayoría de sus escritos críticos con la relatividad. Como debates directos que implicaran al menos una contestación de Palacios sólo se pueden considerar los habidos con Romain y con Cullwick. Tanto el caso de Ortiz como el del resto de científicos españoles se tratan en detalle en el apartado específico sobre este asunto, el 4.8, por motivos ya justificados anteriormente.

#### *Debate con J.E. Romain en Nuovo Cimento.*

Un debate muy constructivo fue el aparecido en las páginas de *Nuovo Cimento* (la revista especializada de la Sociedad Italiana de Física). En 1963 Romain escribió un artículo en el que señalaba algunos errores de concepto de los antirrelativistas<sup>178</sup> y Palacios le replicó bastante más tarde, en 1966.

Romain era un físico del Laboratorio de Ciencias Aplicadas de Texas. Publicó este artículo criticando teorías, como la de Palacios y Gordon, que intentaban reformular las ecuaciones de transformación para mantener el tiempo absoluto. Palacios contestó tres años después y parece que Romain no volvió a replicarle. Escribió otros dos artículos relacionados con los posibles problemas de interpretación de la relatividad,

---

<sup>178</sup> J.E.Romain, "On some misconceptions about relativistic co-ordinate transformations, *Il Nuovo Cimento*, NC, 30, 1254 (1963); Palacios, "The relativistic Measures and Units", *il Nuovo Cimento*, v 43 A, n2 Mayo 1966.

como las paradojas en relatividad y las medidas, donde denunciaba errores conceptuales de algunos antirrelativistas, pero no citaba a Palacios.<sup>179</sup>

Romain señala el interés recobrado en las transformación de Lorentz. Aunque trata sobre varios autores, destaca los casos de Palacios y Gordon, que han intentado realizar unos postulados alternativos a los de la relatividad einsteniana para acomodarlos a su posicionamiento filosófico. Para ello cita el extenso artículo de Palacios de 1957 que fue la base de su libro *Relatividad. Una nueva teoría*, así como la edición francesa de sus obra *Análisis dimensional*. Romain considera las teorías de Palacios y Gordon muy similares y de hecho las denomina conjuntamente “Palacios-Gordon theory”, cuyos desarrollos están basados en concepciones erróneas y falacias. Además “Los nuevos esquemas y la relatividad especial convencional son físicamente equivalentes, y difieren sólo por una elección de unidades”. Veremos que es el mismo planteamiento que realizó Fornaguera en su crítica a Palacios. Romain señala también que el problema denunciado por Palacios respecto a la no invariancia de las constantes universales se basa en una falacia por conceptos erróneos respecto a la elección adecuada de unidades.

La contestación de Palacios apareció en *Nuovo Cimento* con el artículo “The relativistic Measures and Units”<sup>180</sup>, que el mismo autor definía como réplica del de Romain en el resumen inicial. Comienza señalando la crítica que hace Romain a algunos autores que plantean las dificultades conceptuales de la teoría de Einstein. Romain decía (NC, 1963) “The description of the physical phenomena is identical in Einstein’s special relativity and in the Palacios and Gordon Theory (up to a change of units)”. Palacios se defiende de esta idea, y en resumen repite los mismos argumentos que en textos anteriores. Insiste en que el problema es la confusión que se da entre la constancia de la velocidad de la luz como fenómeno físico y como resultado de una medida. Para Palacios la invarianza de  $c$  no es un fenómeno físico, sino el resultado de la contracción de los metros en movimiento y de la manipulación de los cronómetros. Rechaza la idea de Romain sobre la equivalencia de las ecuaciones de Palacios con las de Einstein, mediante una adecuada elección de unidades, porque precisamente no se pueden elegir unidades de forma arbitraria, ya que generan inconsistencias como el pretender que los sistemas de Einstein y de Palacios son equivalentes cuando se basan en postulados distintos, si no contradictorios.

#### *Debate con Cullwick en Electronics and Power,*

La revista inglesa de electricidad y electrónica *Electronics & Power. The journal of the Institution Engineers* amparó varios debates sobre relatividad en su sección “Letters to the Editor”, donde Palacios fue uno de los protagonistas en un par de ocasiones. Por lo tanto, estas contribuciones del físico español no se pueden considerar artículos como tales, sino notas breves dirigidas a la revista para su publicación en la sección de cartas de los lectores, aunque bien es verdad que en

---

<sup>179</sup> Romain, “A geometrical approach to relativistic paradoxes”, *American Journal of Physics*, 1963, v 31, p 576; “Time measurements in accelerated frames of reference”, *Reviews of Modern Physics*, 1963, v 35, p 376.

esas cartas mandaban escritos profesores universitarios o personas pertenecientes a departamentos de investigación en empresas de la industria eléctrica o electrónica.

En el número de Octubre de 1964 apareció un escrito de Palacios<sup>181</sup>, en el que demostraba que no era covariante la ley inversa del cuadrado de la distancia para las medidas de intensidades de una fuente de radiación desde un observador fijo y otro en movimiento. Como la covarianza es una consecuencia del principio de relatividad, consideraba refutado dicho principio

Dos meses después apareció la réplica del Profesor Cullwick (De la *University of St. Andrés*, Dundee), también en la sección de cartas al editor y con el mismo título en la cabecera. Cullwick razonaba que no se requería la invarianza bajo transformaciones de Lorentz de dicha ley para mantener el principio de relatividad. Lo que este principio dice es que la covarianza debe mantenerse para las leyes y no para los efectos físicos medibles. El caso de la medida de la intensidad es un efecto de la radiación.

En realidad, demuestra Cullwick, la ley inversa del cuadrado de la distancia es un caso particular de una ley más general de relación entre intensidades. Esta ley general sí cumple la covarianza, o invarianza bajo transformaciones de Lorentz. La ley general para fuentes estacionarias se convierte en una ley inversa del cuadrado de la distancia, que ya no es una ley como tal, sino un efecto. En realidad es un problema de terminología inadecuada.

Palacios no contestó en esta revista<sup>182</sup> pero sí en la de *R. Acad. Ciencias de Madrid*, en 1966.<sup>183</sup> En su réplica analiza las objeciones anteriores que le hizo Cullwick, intentando demostrar que la no covarianza de la ley inversa del cuadrado de la distancia para las medidas de intensidades es incompatible con el principio de relatividad. Digo intenta porque más que demostración lógica Palacios refiere un problema de interpretación. Plantea, además, un experimento crucial, sin detalle de cómo se realizaría, por el cual midiendo la intensidad de radiación de una fuente en movimiento, si no cumpliera dicha ley inversa se invalidaría la teoría einsteniana. Nótese que dicho experimento, según el razonamiento de Cullwick no refutaría nada ya que la medida de la intensidad es un efecto no sujeto al principio de covarianza.

#### *Debate múltiple "Spot the fallacy" en Electronics and Power .*

Palacios tuvo una participación testimonial en el debate múltiple entre varios autores bajo el título "Spot the fallacy", aparecido en la sección "letters to the editor" de *Electronics and Power*.

El debate comenzó con un escrito de Waldron, en Marzo de 1964, en el que realizaba una consulta para solventar una posible contradicción en la medida de la

---

<sup>180</sup> Palacios, *il Nuovo Cimento*, v 43-A, nº 2, Mayo 1966.

<sup>181</sup> Palacios, "Inverse-square law in the theory of relativity", *Electronics & Power*, 1964, p 362.

<sup>182</sup> Sólo he podido consultar hasta Diciembre de 1968. No parece probable que Palacios contestara en 1969 si no lo había hecho desde 1965.

<sup>183</sup> Palacios, "The inverse law in the theory of relativity", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 60, 1966 p. 27 a 34.



velocidad de una onda electromagnética monocromática. El problema radicaba en que un observador en reposo mediría una longitud de onda y una frecuencia, tal que su producto debía ser la velocidad de la luz en el vacío, es decir  $\lambda_0 \nu_0 = c$ . En cambio un observador en movimiento mediría una frecuencia

$$\nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - v/c}}{\sqrt{1 + v/c}}$$

debida al efecto Doppler relativista y una longitud de onda

$$\lambda = \lambda_0 \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right)$$

debida a la contracción de Lorentz-Fitzgerald. De esta forma el producto daría  $\lambda \nu = c - v$ , lo que contradice el principio de constancia de la velocidad de la luz.

A esta consulta respondieron varios autores, la mayoría de departamentos de física de algunas universidades (Jagger y Wearing en Abril de 1964, Essen y Demotsopoullos en Mayo de 1964, Rosser y Schwelb en Junio de 1964, Rudefer en Agosto de 1964). La mayoría coincidían en solventar el error, indicando que la contracción de Lorentz se aplicaba a sólidos rígidos y no a la longitud de onda medida, o bien que Waldron había aplicado las ecuaciones de Lorentz de forma inapropiada. En definitiva la longitud de onda medida para un observador en movimiento es de la forma

$$\lambda = \lambda_0 \frac{\sqrt{1 + v/c}}{\sqrt{1 - v/c}} \text{ con lo que queda } \lambda \nu = \lambda_0 \nu_0 = c.$$

Además algunos insistían en que había comprobación experimental del fenómeno. Waldron contestó una vez aceptando el error, pero sólo en parte, mostrándose ambiguo con la explicación de sus colegas.

Palacios participó en este debate mucho más tarde, en Julio de 1965, cuando desde Agosto de 1964 no se había escrito nada al respecto<sup>184</sup>. Aunque daba la razón al resto de autores en que la longitud de onda no se contrae según la contracción de Fitzgerald, en cambio para el cálculo de la frecuencia indica que hay que considerar la sincronización de los relojes, ya que un valor se mide con un reloj en reposo y otro con un reloj en movimiento. Antes de la sincronización coincide con el valor de la frecuencia según el efecto Doppler, es decir

$$\nu_r = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - v/c}}{\sqrt{1 + v/c}}$$

pero el factor de sincronización es del tipo  $\nu = \nu_r (1 - v^2/c^2)$ , por lo que la frecuencia medida es

$\nu = \nu_0 (1 - v/c)$  con lo que queda  $c' = c - v$ , concluyendo que "the relativistic rule of composition of velocities is wrong".

---

<sup>184</sup> Palacios, "Spot the fallacy", *Electronics & Power*, 1965, p 239.

A esta nota de Palacios no contestó nadie (se ha consultado la revista hasta Diciembre de 1968) . En el año 1966 hubo otra polémica en la misma sección de la revista, con varios de los mismos protagonistas anteriores, sobre la presión de la radiación y la teoría balística de la luz. En esta polémica no participó Palacios.

#### *Debates por correspondencia privada.*

Sabemos que Palacios tuvo variada correspondencia con varios científicos, por diferentes comentarios de él mismo. Con algunas de dichas personalidades es bastante probable que mantuviera debates interesantísimos que, lamentablemente, no han sido publicados al limitarse a correspondencia privada.<sup>185</sup>

Corroborando mi tesis anterior, en uno de sus escritos afirma Palacios

No me han faltado los comentarios, tanto los favorables como los adversos. tengo copiosa e interesantísima correspondencia con especialistas de todas las naciones cultas y puedo decir que, hasta ahora, mi teoría ha salido robustecida con la prueba. pero se da una circunstancia desconcertante. Los mismos que no aciertan a rebatir mis argumentos siguen publicando notas tratando de mantener en pie la teorías de Einstein y para nada mencionan mis escritos. ¡Otra vez el tabú!. Por rara excepción, el profesor Arzelies, autor de un bien documentado libro, hace del mío un comentario tan superficial que demuestra no haberse enterado, y en la discusión que hemos tenido por cartas, pretende refutar mi tesis recurriendo al principio de autoridad como en los buenos tiempos medievales.<sup>186</sup>

Parece pues obligado analizar las referencias de Arzelies, que veremos a continuación. Una correspondencia que sí he podido consultar, es parte de la habida entre Palacios y Herrera (perteneciente al archivo Herrera, con una información de indudable interés), lo que se analiza en detalle en el apartado 4.13 dedicado a los científicos en el exilio.

#### *Debate con Arzelies*

Vimos anteriormente que parece obligado repasar el texto de Arzelies donde refuta a Palacios. Henri Arzelies era un físico francés, profesor de las facultades de ciencias de Burdeos, Rennes y Rabat, que publicó en los años cincuenta una de las obras más completas sobre relatividad: seis volúmenes que trataban todos los aspectos relacionados con la misma, tanto teóricamente, como en sus aplicaciones. En cada capítulo se incluye una sección denominada “Notes historiques et bibliographiques”

---

<sup>185</sup> Es más que posible que mucha de esta información esté disponible en el archivo del museo Blas Cabrera de Lanzarote. En un principio el archivo de Palacios, según nos indica Gonzalez Redondo en “La reorganización de la Matemática en España tras la Guerra Civil. La posibilitación del retorno de Esteban Terradas y Julio Rey Pastor”, *La Gaceta de la R. Soc. Mat. Esp.* (vol 5.2, 2002, pág 465) por esas fechas el archivo estaba custodiado por González de Posada hasta su ubicación definitiva, en el Centro Científico-cultural Blas Cabrera de Arrecife (Lanzarote). Lamentablemente no he podido consultar dicho archivo, lo que puede ser interesante para una ampliación de este trabajo.

<sup>186</sup> Palacios, “¿existe el éter?”, *Crisis*, 1961, p 390.

donde se analiza el desarrollo histórico de cada tema, con una catalogación extensa de trabajos originales relacionados, así como de las diferentes polémicas asociadas, incluyendo muchos documentos antirrelativistas. En este sentido fue de las pocas obras sistemáticas sobre relatividad en que se citaba a Palacios.<sup>187</sup> De hecho, en uno de los volúmenes Arzelies critica a Palacios en sus conclusiones sobre la paradoja de los relojes, porque las establece por una cuestión más “sentimental” que científica. También opina que el sentido del tiempo considerado por Palacios no se corresponde ni con los fenómenos físicos ni biológicos.<sup>188</sup>

En el epígrafe dedicado a la influencia del Análisis Dimensional, dentro del apartado de las “claves temáticas”, vimos que Palacios hacía referencia al argumento de Arzelies relativo a la necesidad de imponer las unidades gaussianas para las ecuaciones de Maxwell.

El problema surge porque según la interpretación de Palacios, Arzelies defendía el sistema gaussiano para salvar el principio de relatividad y, a su vez, según Palacios, las ecuaciones de Maxwell en dicho sistema son dimensionalmente inconsistentes. Recordemos que este era uno de los principales argumentos de Palacios para rechazar la relatividad. Aunque Arzelies era relativista Palacios le da razón en que el principio de relatividad sólo es compatible con el sistema gaussiano.

Pues bien, parece ser que sobre este problema Palacios y Arzelies discutieron personalmente, tal como se indica en *ABC* en una pequeña nota (“Don Julio Palacios en Marruecos”, 28 de Marzo de 1963), donde se presenta a Arzelies como “secuaz de Einstein” y “mantuvo, en compañía de sus discípulos, una interesante polémica con Don Julio Palacios”, que pronunció varias conferencias sobre relatividad en Marruecos. Tampoco ha aparecido publicado ningún escrito que refleje dicha polémica, salvo el anterior comentario transcrito de Palacios.

### *La progresiva radicalización de Palacios.*

Una vez vistos los debates en que estuvo implicado Palacios, a continuación voy a analizar las características de su posicionamiento que, quizá, le hizo perder parte de su bien ganado prestigio por su radicalidad en algunos aspectos, muchas veces, extraños a lo que debe ser el razonamiento científico. Algunos autores, como González de Posada, se han referido al prolongado esfuerzo de Palacios por contrarrestar la relatividad einsteniana con el término “cruzada”<sup>189</sup>. El término, aunque pudiera parecer algo exagerado, es adecuado ya que, efectivamente evolucionó a lo largo de los años hacia una postura cada vez más radical, incluyendo críticas en algunos casos descalificadoras y ajenas al terreno científico. Como hemos visto sus trabajos sobre relatividad se prolongaron durante quince años, con lo que su esfuerzo

---

<sup>187</sup> Arzelies, *La cinématique relativiste*, Gauthier-Villars, París, 1955; *La dynamique relativiste et ses applications I*, Gauthier-Villars, París, 1957; *La dynamique relativiste et ses applications II*, Gauthier-Villars, París, 1958; *Relativité Généralisée. Gravitation I*, Gauthier-Villars, París-Rabat, 1961; *Relativité Généralisée. Gravitation II*, Gauthier-Villars, París, 1963; *Electricité. Le point de vue macroscopique et relativiste*, París, 1963.

<sup>188</sup> Arzelies, *La dynamique relativiste et ses applications II*, Gauthier-Villars, París, 1958, p. 433.

<sup>189</sup> González de Posada, *Julio Palacios: físico español, aragonés ilustre*, Madrid, 1994, p. 63.

puede ser considerado como titánico. En este apartado se va a analizar esta “lucha” de Palacios fuera del aspecto puramente científico. Los casos que ejemplifican esta “cruzada” pueden concretarse en los siguientes:

- Progresiva radicalización en cuestiones conceptuales, como la defensa del éter y de la acción a distancia. En algunos escritos mezclaba ideas científicas con ideológicas, usando terminología impropia de escritos científicos, incluso en algunos casos con descalificaciones personales. También hizo un uso equívoco de citas para apoyar su tesis, así como argumentos poco rigurosos. En este aspecto destacó su intento de desprestigio de Einstein en cuestiones de prioridad, que se analizará en detalle.
- Sentimiento de aislamiento y de ser boicoteado por no ver difundidas sus ideas en medios extranjeros. Escasa proyección internacional.
- Su “campana” en prensa diaria como *ABC* y *YA*, con artículos de divulgación en los que insistía en sus argumentos más polémicos.
- Búsqueda constante de apoyos, haciendo uso de su condición de presidente de la Academia de Ciencias madrileña con presentación de otros autores críticos con la relatividad tanto en la misma revista de la academia como en *Anales de Física*. Esta búsqueda de apoyos científicos también incluyó dirección de trabajos y de una tesis doctoral.
- Ausencia de trabajos sobre pruebas experimentales. Las escasas propuestas de pruebas experimentales sobre su modelo eran de tipo teórico sin concreción práctica en la manera de llevarlas a cabo. Aunque Palacios no cita la prueba de Shapiro ni el efecto Mössbauer a lo largo de sus textos, sí dirigió una tesis doctoral, a Antonio Herranz, donde se tratan con rigor estos dos asuntos.
- Falta de coherencia interna a la hora de mostrar una teoría de forma unívoca. Presentó una gran variedad de postulados similares pero que no presentaban un esquema axiomático unificado. Varió en propuestas de postulados a lo largo de los años, algunos incluso contradictorios. También cayó en contradicciones e inconsistencias a lo largo de sus trabajos. La más clara fue su ataque, a partir de 1963, a la ley de composición de velocidades que en principio invalidaría la teoría einsteniana, cuando en su propia teoría (desarrollada en el libro de 1960) dicha ley era idéntica a la de Einstein. Posteriormente no intentó reformular su teoría de 1960 con esa limitación. Estas inconsistencias se han comentado con profusión en el apartado sobre las claves temáticas del pensamiento de Palacios, por lo que este aspecto no se va a tratar aquí.

A continuación se va a intentar reflejar ejemplos de todo lo anteriormente indicado.

Un cierto grado del uso inadecuado de las referencias se refleja en que usaba casi exclusivamente las que apoyaban su tesis. Realmente Palacios dominaba la bibliografía sobre el tema y parece que está al día de las novedades, siguiendo las revistas especializadas extranjeras. En cambio no hizo referencias sobre la literatura relacionada con las pruebas experimentales, excepto el experimento de Kantor, que citó profusamente, aunque en cambio no citó los experimentos siguientes que contradecían al de Kantor. Este aspecto se ha tratado en profundidad anteriormente.

Otro ejemplo es el problema de la correcta formulación de las ecuaciones de Maxwell. Vimos anteriormente, en el epígrafe dedicado a electromagnetismo y relatividad, que era incorrecto el planteamiento de Palacios al respecto, ya que no todos los autores relativistas usaban de forma errónea las ecuaciones de Maxwell.

Aunque en los años 50 ya publicó varios artículos críticos con la relatividad, en los *Anales de Física* y la revista de la *R. Acad. Ciencias de Madrid*, dejaba los textos más propios de lo que hemos caracterizado como "cruzada" para otros medios, como el siguiente en el de la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*"

Aquellos que desde un principio confesaron no entender a Einstein, como su gran amigo y admirador Ehrenfest, y el recién fallecido Majorana, eminente físico italiano, dieron pruebas de solidez mental y buen criterio. A quienes pretendieron haber asimilado las ideas de Einstein a fuerza de meterse fórmulas en la cabeza, les viene como anillo al dedo la frase de Unamuno: «Si serán tontos que lo saben todo». Y en apoyo de estas afirmaciones se puede aducir el testimonio del propio Einstein con que encabezamos estas líneas y reforzarlo con la carta escrita a su biógrafo Carl Seelig el 14 de septiembre de 1953. En ella, tras de comunicarle que ha publicado en los *Annals of Mathematics* la última modificación de su teoría, con la que creía haber encontrado la forma definitiva de las ecuaciones del campo unitario, dice: «Die mathematische Folgerichtigkeit der Theorie läßt, sich nicht bestreiten. Die Frage der physikalischen Gültigkeit ist aber noch völlig ungeklärt.» (Es indiscutible que la teoría es perfecta en su aspecto matemático, pero la cuestión de su validez física queda por ahora perfectamente inexplicada).<sup>190</sup>

En este último párrafo en que Palacios traduce las palabras de Einstein, creo que, si se me permite la expresión, hace trampas, porque aquí Einstein se estaba refiriendo en 1953 a su intento de encontrar las ecuaciones de campo unificadas y por lo tanto no es aplicable a la relatividad de 1905 y 1915, de la que nunca Einstein dijo nada parecido. Palacios aprovecha cualquier circunstancia para justificar sus ideas.

En otro texto de 1961, en un epígrafe de significativo título "Las mutilaciones de la realidad" vuelve con esta interpretación errónea sobre la inconclusa teoría de Einstein del campo unificado, concluyendo de su interpretación que las propias teorías de Einstein generaban confusión. Además, se constatan otros tópicos palacianos que caracterizaban su "cruzada" como en el siguiente texto

#### LAS MUTILACIONES DE LA REALIDAD

Cabe esperar que, con el perfeccionamiento de los métodos de investigación, sean teóricos o experimentales, se descubran diferencias que hayan escapado a un estudio menos profundo. La relatividad einsteniana tomó sistemáticamente la tendencia contraria; cosas claramente distintas, se funden o confunden en una sola. Tiempo y espacio se

---

<sup>190</sup> En "Ensayo de una nueva teoría de la relatividad", *Las Ciencias. Revista de la Asociación española para el progreso de las ciencias*. 1958 Vol. XXIII p. 39 a 49.

confunden para formar una entidad superior que ha de medirse con un aparato híbrido de metro y reloj. Se pretende que la masa gravitatoria sea la misma cosa que la masa inercial, y ambas se confunden con la energía. Los dos principios de conservación, el de la masa y el de la energía, se reúnen en uno solo. Todo esto, merced a un proceso que consiste en tomar en consideración atributos comunes o analogías formales, y prescindir de lo que cada magnitud física tiene de peculiar su dimensión. Por eso, se ignora algo tan fundamental como la existencia de las constantes universales y no se plantea siquiera el problema de averiguar lo que les sucede al cambiar de sistema de referencia.

Con la relatividad einsteniana desaparece la diferencia entre lo pasado y lo porvenir; entre lo real y lo ficticio; entre lo natural y lo artificioso; entre lo verdadero y lo falso. A fuerza de ignorar diferencias, se pretende explicar todos los fenómenos naturales mediante un solo campo. Al final de su vida dio Einstein la forma que consideraba más natural para lograr esta reducción, pero advirtió que no veía la manera de comprobar si estaba de acuerdo con los hechos conocidos.<sup>191</sup>

Como se ha comentado, este texto ejemplifica varios aspectos de la radicalización de Palacios, al asignar a la relatividad interpretaciones claramente erróneas, si no tergiversadas, como las asociadas al relativismo. Este tipo de párrafos tenía cuidado Palacios de publicarlos en revistas que no eran de índole puramente científica. En esta falta de rigor, impropia de un científico de su valía, ya se nota cierta desazón o sentimiento de sentirse aislado.

En algunas ocasiones, utilizaba vocablos inapropiados para un científico, como “adversarios”, “enarzados” o “agravio”, si bien pudiera ser más compresible este lenguaje polémico en el ámbito de una conferencia, como la de las reuniones de aproximación filosófico-científica organizadas por el *Instituto Fernando el Católico* de Zaragoza. Veamos cómo se expresaba nuestro físico más ilustre de las primeras décadas de la España franquista:

Con el advenimiento de la relatividad las cosas ha cambiado de tal modo que, ahora, todos los físicos contemporáneos que se ocupan de estas cuestiones, manifiestan un desprecio olímpico hacia las “rudimentarias” ideas que, acerca del tiempo y del espacio, expusieron genios de la talla de Platón, Newton, Descartes y Kant, y la cosa llega al extremo de que, en la enconada polémica en que están ahora enarzados los relativistas einstenianos, cada bando considera que ha dado el golpe de gracia al adversario acusándole de creer todavía en el espacio y el tiempo a la manera de Newton, acusación que es recogida y rechazada como un injurioso agravio.<sup>192</sup>

---

<sup>191</sup> Palacios, “El enigma de la teoría de la relatividad Parte II La crisis” *Revista Arbor*. Tomo XLIX, num. 187 y 188, Julio Agosto 1961, p. 38.

Se defendía también respecto a que mantener las ideas newtonianas fuera una cuestión de prejuicios; de hecho más tarde acusaría a muchos físicos precisamente de tener prejuicios relativistas.

Sería cosa peregrina el que las ideas de Newton, tan sólo conocidas por unos pocos [se refiere a que las ideas filosóficas de Newton sobre el espacio y el tiempo no aparecían en los textos de física], tuvieran la extraña virtud de llenar de prejuicios los cerebros de cuantos estudian física. Como no se puede creer tal cosa, tengo para mí que las mentes juveniles, con y sin Newton son, cual *tabula rasa*, y que, si captan sin dificultad la mecánica newtoniana, mientras que tropiezan con un verdadero embrollo al querer iniciarse en los misterios de la relatividad einsteniana, embrollo que no han logrado esclarecer en medio siglo los especialistas, hemos de admitir, cuando menos, que los llamados conceptos newtonianos o rudimentarios existen ya en las mentes como cosa natural, clara y sencilla, mientras que, para discurrir a la manera einsteniana se requiere una previa y profunda deformación del intelecto.<sup>193</sup>

Vemos que, para Palacios, el hecho de que el esquema clásico newtoniano sobre el espacio y el tiempo se aprenda mucho más fácilmente por su carácter intuitivo es motivo para defenderlo frente al esquema relativista, lo que tampoco es un argumento metodológicamente riguroso ni científico.

Como se comprueba en el siguiente párrafo seleccionado, también se defendió de una supuesta acusación sobre prejuicios, no ya newtonianos sino más arraigados en el pasado como la filosofía escolástica. No sabemos que nadie haya realizado este tipo de referencias.

Afirma Einstein que su postulado deriva necesariamente del principio de inercia de Galileo y de hechos irrefutables a saber: de la invarianza de la velocidad de la luz y de todos los fenómenos electromagnéticos en el vacío resumidos en las ecuaciones de Maxwell. El primer hecho fue objeto de animada controversia, pero ya nadie combate la teoría de Einstein poniéndola en duda. En cuanto a las ecuaciones de Maxwell, de las que Boltzman dijo que parecían estar dictadas por Dios, nadie, que yo sepa, ha puesto en tela de juicio su validez. Parece, pues, que no tenemos más remedio que admitir la teoría de Einstein. Si de ella se deriva algo que no logramos entender, es porque somos gente de pocos alcances y, si queremos encubrir pudorosamente nuestra deficiencia mental, lo mejor es que nos metamos en la cabeza todos los desarrollos matemáticos, y nos unamos al coro de quienes, califican de prejuicio escolástico propio

---

<sup>192</sup> Palacios, "El espacio y el tiempo en la teoría de Einstein". Conferencia de Julio Palacios publicada en las actas en 1959 bajo el título *Segunda reunión de aproximación filosófico-científica*. CSIC. Ed. Fernando el Católico 1959, p. 357.

<sup>193</sup> *Ibidem*, p. 358.

del medievo la pretensión de tener conceptos claros (rudimentarios) de las cosas.<sup>194</sup>

Es importante destacar que es, quizá, en los textos publicados en medios no especializados y sin tratamiento matemático, donde se muestra más combativo. Indudablemente Palacios es consciente del posible desprestigio, pero no por ello evita el debate.

En algunos casos Palacios hace uso de tópicos que ya se usaron en los años 20, como el recurso a la crítica por “el enfarragoso aparato matemático”, incluso en medios científicos, como el siguiente publicado en la *Revista de la R. Acad. Ciencias de Madrid*:

Como resultado del precedente análisis, podemos decir que la relatividad general proporciona una solución ficticia a un problema inexistente. Por otra parte, como a tal solución se llega a través de cálculos farragosos y casi impenetrables, casi sería preferible admitir, de buenas a primeras, que todas las asombrosas consecuencias de la teoría de Einstein ocurrieran por arte de birlibirloque.<sup>195</sup>

En réplica a este texto, creo que no es coherente denominarlo problema inexistente cuando con tanta insistencia y extensión se ocupa del problema. Además, el recurrir al epíteto de “farragosos cálculos” no parece propio de un físico matemático. Parece que Palacios nunca se opuso a la mecánica cuántica, y aunque escribió poco sobre ello, en los casos en que lo hizo, como paradójicamente en un libro de reflexión filosófica como *Esquema físico del mundo*, utilizó profusamente desarrollos matemáticos realmente complejos. Incluso en este mismo texto se puede considerar que su propia explicación incluye este tipo de cálculos farragosos, ya que es una apreciación subjetiva. Igualmente la referencia a las “asombrosas consecuencias” parece que quieren desprestigiar la metodología de Einstein, idea que puede ocultar cierto interés descalificador, lo que insistimos pudo aumentar el desprestigio de Palacios respecto a su estudio sobre la relatividad, no así en otros campos en los que sí tenía una justamente reconocida autoridad.

Un aspecto de su radicalización se observa en la denominación de su teoría. En los primeros años la denominaba, como la de Einstein, teoría de la relatividad, porque hacía referencia a leyes sobre el movimiento relativo, pero como defendía que siempre se pudiera detectar el movimiento absoluto afirmaba que “puede seguir llamándose teoría de la relatividad”, aunque plantea la conveniencia de denominarla “teoría del movimiento absoluto”.<sup>196</sup> Recordemos que a Einstein tampoco le satisfacía la denominación con la que se conoció su teoría, que el hubiera preferido se llamara Teoría de la Invarianza. Años más tarde, en 1968 publica *La nueva dinámica antirrelativista*.<sup>197</sup> Esta es la primera vez que aparece un texto de Palacios con el nombre explícito de antirrelativista, precisamente en los últimos escritos de su prolongada trayectoria.

<sup>194</sup> *Ibidem*, p. 360.

<sup>195</sup> Palacios, “la paradoja de los relojes en la teoría general de la relatividad”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1959, p. 507.

<sup>196</sup> Palacios, “El enigma de la teoría de la relatividad. II La crisis”, *Arbor*, 1961, p 306.



Una de las grandes carencias de la teoría de Palacios es su prácticamente nula propuesta de pruebas experimentales. Sólo en un caso planteó una especie de comprobación experimental, aunque realmente pseudoteórica, ya que no propone la forma de realizarla.<sup>198</sup> La propuesta es la siguiente: como la atracción entre dos cuerpos depende de la posición de los mismos respecto de la dirección de movimiento del sistema de referencia, es posible hallar experimentalmente la dirección y velocidad con que se mueve la tierra respecto al éter fijo. Esto se puede lograr sin más que medir la atracción entre dos cuerpos en diferentes posiciones, pero Palacios no explica en concreto cómo realizar ese experimento.

La única aportación interesante en este sentido es la dirección de la tesis doctoral a Antonio Herranz sobre su teoría, donde se valoraron algunas pruebas más consistentes. Este tema lo trato en profundidad más adelante.

En cuanto a la mezcla de cuestiones científicas con ideológicas, en la conferencia citada anteriormente Palacios presentó una novedad en sus argumentos, el recurso que hace de comparar la paradoja de los relojes con “la dialéctica materialista de Hegel y Marx, según la cual con la tesis, S’ más joven que S, y su antítesis, S más joven que S’, debe formarse una síntesis que comprenda ambas”.

Cuando considera la paradoja de los relojes y las consecuencias absurdas que se derivan de ello, plantea que sólo se solucionarían haciendo uso de la dialéctica hegeliana, en una interpretación un tanto extravagante:

Que por nuestra limitación seamos incapaces de captar la realidad en todos sus conceptos, pase, pero que nuestra razón esté organizada de tal modo que se vea obligada a elaborar una teoría contradictoria consigo misma para describir con ella el aspecto de la realidad que nos es perceptible, parece una broma pesada. Pero como Einstein y todos los relativistas afirmaban que ello era así por la fuerza de los hechos se calificó también de rudimentaria, ingenua y medieval la lógica aristotélica, y se echó mano de la dialéctica de Hegel y Marx: *tesis y antítesis se funden en la síntesis*.<sup>199</sup>

En otro texto afirma

.. y lo más sugestivo es que todo tenía que ser relativo, por lo que las antinomias *a* mayor (o más lento) que *b*, y *b* mayor (o más lento) que *a*, no sólo tienen que ser compatibles, sino necesariamente ciertas. Había que desechar por caduca la vieja lógica basada en la incompatibilidad de la tesis con su antítesis. Antes bien; de acuerdo con la dialéctica de Engels, tesis y antítesis debían fundirse en la síntesis. Y todo ello, no por un malabarismo ideológico, sino como consecuencia de una teoría basada en hechos y comprobada en sus predicciones experimentales.<sup>200</sup>

<sup>197</sup> 1968 *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 52, p 69 a 131.

<sup>198</sup> Palacios, “The newtonian law of gravitation in the theory of relativity”, *R. Acad. Ciencias Madrid*, 1961

<sup>199</sup> “El espacio y el tiempo en la teoría de Einstein”. Conferencia de J. Palacios publicada en las actas de la *Segunda reunión de aproximación filosófico-científica*. CSIC. Ed. Fernando el Católico, 1959, p. 360.

<sup>200</sup> *Arbor*. v XLIX, nº 185, Mayo 1961. “El enigma de la teoría de la relatividad. Parte I Los éxitos”, p 19.

En relación con cuestiones ideológicas, Palacios se hizo eco de la polémica acerca del posicionamiento de los ideólogos del régimen soviético respecto a la relatividad.<sup>201</sup> Hubo un intento de depuración en Rusia contra la relatividad y, según nos cuenta Palacios, parece ser que se planteó en la entonces URSS la compatibilidad entre la relatividad y el materialismo dialéctico, en base al libro de Lenin *Materialismo y empiriocriticismo* (1909), en el que, según Palacios, analiza las implicaciones filosóficas de la nueva física. Esta afirmación de Palacios es algo precipitada, ya que es cierta respecto a la crisis de la Física planteada por Mach y Poincaré, a quienes cita Lenin, así como a Lorentz y Larmor. A pesar de que Lenin trata las implicaciones filosóficas del espacio y el tiempo, en ningún momento cita a Einstein o a la teoría de la relatividad. Según el materialismo dialéctico había que rechazar toda variante del idealismo y, en particular en el campo de la física, la existencia de energía sin materia. Así, en 1949, Vavilov, presidente de la Academia de Ciencias de Moscú, acusó a físicos soviéticos como Landau y Lifshitz de seguir ideas anticientíficas y místicas de destacados físicos, como Bohr, Heisenberg, Schrödinger, Eddington, etc. En lo respectivo a la relatividad la polémica se prolongó, dividiéndose en dos bandos, y cerrándose en 1954, al concluir la compatibilidad de la teoría de Einstein con el materialismo dialéctico, si bien se incidía en la confusión que había generado el propio Einstein por sus ideas filosóficas ambiguas. Pero ahora eran los relativistas, entre los que destacó Fock, colaborador de Dirac y experto en relatividad general, los que estaban en el bando acusador, tachando de sabotaje a todo antirrelativista porque sus ideas no sólo perjudicaban la ciencia soviética sino también su tecnología. Aun con esas conclusiones Palacios destaca la labor de dos físicos antirrelativistas, el húngaro Janossy y Blonichev. Con el tema de la relatividad, en realidad hay una polémica de fondo entre el materialismo dialéctico y el positivismo (también ateo para Palacios), ambos rechazables. Refiere en este sentido la obra de un científico argentino, José Álvarez López, antirrelativista y que plantea la teoría evolucionista desde un planteamiento teleológico, es decir con un plan diseñado hacia la creación del hombre.

El pensamiento de Palacios al respecto se resume en el siguiente texto, que demuestra la influencia de su pensamiento filosófico en el rechazo a la relatividad

Volviendo al terreno limitado de la Física, la lucha a ciegas entre el *Diamat* (ateísmo panteísta) [se refiere al materialismo dialéctico] y el positivismo (ateísmo a secas), debe tener como desenlace el triunfo de la metafísica que ambos contendientes niegan. (...)

Mi propósito al escribir este artículo es pedir la intervención de los filósofos españoles para que no sólo el *Diamat*, sino todas las filosofías hijas de la Reforma, corran la misma suerte que el krausismo, engendro exótico que abortó en España.<sup>202</sup>

En un interesante trabajo de 1963 sobre simbolismo matemático y representación intuitiva también hace uso de una interpretación que se escapa del terreno científico al afirmar que

<sup>201</sup> "Einstein y la filosofía Soviética". *Las Ciencias*, v 26, 1961, p. 89 a 99.

<sup>202</sup> Palacios, "Einstein y la filosofía Soviética". *Las Ciencias*, v 26, 1961, p. 99.

Antes se exigía a las ficciones matemáticas que sus postulados no implicasen contradicción. Ahora se ha dado un paso más: la contradicción es admitida por los físicos matemáticos marxistas como un gran avance científico. Uno de los mejores físicos soviéticos, V. Fock, declara (...) que el materialismo dialéctico le ha ayudado a entender correctamente la teoría de Einstein y a interpretar los nuevos resultados obtenidos con tal ayuda.<sup>203</sup>

Habiendo consultado el libro de Fock que se refiere, *The Space, Time and Gravitation*, es correcta la cita de Palacios. Pero el que esta afirmación de Fock claramente sea una aplicación errónea de cuestiones ideológicas, y por tanto anticientífica, no valida el uso también ideológico y anticientífico para rebatir la relatividad, uso del que sólo hizo el físico español de forma excepcional y en medios no científicos. Probablemente este artículo en *Atlántida* se deba a una réplica (aunque Palacios no lo cita, de ahí el carácter hipotético de esta afirmación) a un artículo aparecido en el número anterior de Von Weizsacker y J. Juilfs, "La física actual y la teoría de la relatividad". Este texto de divulgación es un repaso conceptual por los temas de estudio de la física y sus implicaciones filosóficas, donde expone someramente la relatividad de forma tal que no plantea dudas sobre su validez.

Creo que este tipo de recursos, en vez de ser efectivos, pudieron influir en el desprestigio posterior de Palacios por un uso inadecuado de los razonamientos críticos.

Sobre cuestiones de prioridad en el origen de la reatividad, a partir de 1960 Palacios comenzó a plantear dudas sobre la prioridad de Einstein en algunos aspectos de su obra. En general estas dudas sobre la prioridad del creador de la relatividad son erróneas y se enmarcan más en lo que se ha denominado "la cruzada de Palacios", en su radicalización, que en un riguroso análisis histórico del desarrollo de la obra de Einstein, como voy a intentar demostrar a continuación. En el artículo citado de *Arbor*<sup>204</sup> trató la prioridad en la formulación de las ecuaciones de transformación y el principio de relatividad por un lado, así como la inercia de la energía en la ecuación  $E=mc^2$ .

Aunque Palacios reconoce que no se puede acusar a Einstein de plagio, que su trabajo fue original, no duda en atribuir la prioridad del principio de relatividad a Poincaré y a Lorentz y también de la equivalencia entre masa y energía al físico austriaco Hasenhörl que lo formuló en 1904, aunque no dice dónde. En parte Palacios acierta al decir "Es un caso más, de los muchos que se encuentran en la Historia de la Física, en que una cuestión ya madura es resuelta, independientemente, por varios de los que se ocupan de su estudio". Pero en cambio, falla en asegurar la prioridad para Poincaré y Lorentz sin profundizar en el tema y citar las referencias. Esto sí lo hacen

<sup>203</sup> Palacios, "Ficción matemática y realidad física". *Atlántida*. RIALP. Mayo Junio 1963, p. 648.

<sup>204</sup> "El enigma de la teoría de la relatividad". Parte I "Los éxitos", *Arbor*, v 49, nº. 185, 1961, parte II "La crisis" (num. 187 y 188, Julio Agosto 1961).

Terradas y Ortiz en su obra de 1952, así como Pais y Sánchez Ron<sup>205</sup> donde se demuestra que tanto Poincaré como Lorentz tenían una interpretación limitada del Principio de relatividad y no asumieron la relatividad einsteniana con todas sus consecuencias. Lorentz, al final de su vida, sí reconoció la originalidad de la teoría einsteniana en principios que él no había considerado, como la validez de la relatividad como teoría cinemática, cuando él inicialmente sólo la consideraba electromagnética. Por lo tanto no cabe dudar sobre la prioridad de Einstein en este asunto. Palacios cita a Max Born en un congreso en Berna de 1955 para apoyar su tesis sobre la prioridad para Lorentz y Poincaré, pero tampoco cita referencia para consultar. De hecho en párrafos posteriores el propio Palacios afirma que la inclusión del tiempo local la interpretaba Lorentz como un mero artificio de cálculo, cuando para Einstein era una idea básica de su teoría. En definitiva se contradecía él mismo.

Respecto a la famosa fórmula  $E=mc^2$ , aunque Palacios afirma que el principio de asignar inercia a la energía y que ésta viene dada por la expresión anterior, está comprobado experimentalmente con las reacciones nucleares, dice que es un error vincularla a la relatividad porque Planck dedujo en 1906 la misma ley sin recurrir a la relatividad.

Palacios compara el éxito de la relatividad de Einstein con el de la teoría de los cuantos de Planck, destacando la mucha mayor resonancia de la primera probablemente por su impacto filosófico. Vuelve a incurrir en falta de rigor histórico cuando afirma que “Einstein se resistió siempre a aceptar la teoría de Planck”, lo que no es correcto, ya que la resistencia de Einstein a la Física Cuántica se refería a su carácter probabilística e indeterminista y no a la parte inicial de la hipótesis de Planck de la cuantización de la radiación.

Años más tarde, aunque ahora sí en un medio científico, en el escrito *Dinámica relativista* (R. Acad. Ciencias de Madrid, 1965), Palacios insiste en quitar importancia a los logros de Einstein. Primero destaca que ya en 1904 Poincaré planteó la necesidad de modificar la ley fundamental de la dinámica newtoniana (dada por la expresión  $fdt=mdv$ ) para que estuviese de acuerdo con la imposibilidad de que los cuerpos materiales adquiriesen una velocidad superior a la de la luz.<sup>206</sup> También cita a Lorentz<sup>207</sup> donde estudia el movimiento de un electrón en un campo electromagnético y concluyó que había que distinguir entre la masa transversal y masa longitudinal del electrón ambas afectadas por el factor  $(1-v^2/c^2)$ . Igualmente considera a Planck el artífice de la ecuación fundamental de la dinámica relativista, donde ya no es preciso realizar la distinción entre masa longitudinal y transversal, en un artículo de 1906. Al respecto dice Palacios “Esta ecuación ha sido plenamente confirmada y es aceptada unánimemente, por lo que el gran sabio alemán merece ser considerado, con toda justicia, como el fundador de la nueva mecánica. Pero Planck dedujo su ecuación basándose en el principio de relatividad, y por eso todo el mérito se atribuye a Einstein”<sup>208</sup>. Creo algo atrevida esta idea ya que, aunque es cierto que en su artículo

<sup>205</sup> Pais, *El Señor es sutil*, Ariel, Barcelona, 1984; Sánchez Ron, *el origen y desarrollo de la relatividad*, Alianza Editorial, Madrid, 1985.

<sup>206</sup> Se basa en el artículo de Poincaré en *Bull.desSc.Math*, 1904, p. 392.

<sup>207</sup> Lorentz, *Amst Proc*, 1904, p. 800.

<sup>208</sup> Palacios, “Dinámica relativista”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1965, p 51.

de 1905 Einstein planteó el problema de forma similar al de Lorentz, el hecho cierto es que la ley fundamental de la dinámica relativista se deduce desarrollando el principio de relatividad para las fuerzas.

Al considerar la aplicación del principio de Mach (el hecho de que las fuerzas de inercia son debidas a la presencia de todas las masas del Universo) a los movimientos en rotación, Palacios concluye que Mach es “el verdadero fundador de la física relativista y el responsable, en último término, de sus éxitos y sus fracasos”<sup>209</sup>. En este mismo artículo, bajo el epígrafe “Inercia de la energía” desarrolla más profundamente la historia de esta idea, con la intención de demostrar que no surge con Einstein. Repasa las aportaciones de Thomson en 1881, Poincaré en 1900, Kaufman en 1901 y Hasenöhrl en 1904, siguiendo el famoso libro de Whittaker de 1951. Correctamente sintetiza que Thomson planteó que una esfera conductora y cargada de electricidad se comporta al moverse como si su masa se hubiera incrementado de forma proporcional a  $W/c^2$ , siendo  $W$  la energía del campo electrostático engendrado por la carga y el factor de proporcionalidad  $4/3$ . Poincaré sugirió que para el campo electromagnético se debería considerar una masa equivalente por unidad de volumen con el valor  $W/c^2$ . Hasenöhrl consideró la aplicación de las ecuaciones de Maxwell al caso de radiación presente en una caja en movimiento con paredes reflectoras, deduciendo que había que atribuir a la radiación una masa dada por la expresión  $m=KW/c^2$ . Todas estas hipótesis se vieron confirmadas por los experimentos llevados a cabo por Kaufman. Con esta revisión histórica Palacios concluye que “la necesidad de atribuir inercia a la energía electromagnética es uno de los descubrimientos mejor confirmados de la física prerrelativista”.

Al respecto Pais<sup>210</sup> opina que, aunque la equivalencia masa-energía ya se conocía desde 1880, sólo se consideraba esta equivalencia para casos especiales. En realidad fue Einstein el que generalizó el fenómeno para toda clase de energía. Aquí está pues la clave en la prioridad de Einstein sobre este problema. También Pais refleja una cierta polémica, iniciada por Lenard, sobre la prioridad en este caso a favor de Hasenöhrl<sup>211</sup>. Un resumen de este desarrollo histórico se encuentra en la misma obra citada de Pais.<sup>212</sup>

Palacios mantuvo con algunos colegas debates ciertamente interesantes en el ámbito científico, que se han analizado en profundidad anteriormente. Pero ahora quiero centrar la atención en un ámbito más propio de disputa ajena al terreno científico, ya que protagonizó algunas críticas con ánimo descalificador. Estas críticas son otro ejemplo de su denodado esfuerzo por mantener sus ideas de forma “combativa”. En mi opinión es uno de los capítulos más desafortunados de su trayectoria, en general modélica, tanto científica como literaria.

<sup>209</sup> Palacios, “Inercia y Gravitación”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1965, p. 488.

<sup>210</sup> Pais, Abraham, *El Señor es sutil...*, Ariel, Barcelona, 1984, p. 155 y 156.

<sup>211</sup> *Ibidem*, p. 208.

<sup>212</sup> *Ibidem*, p. 162.

En Noviembre de 1965 Palacios impartió una conferencia en el Ateneo de Madrid, (posteriormente apareció publicada con el nombre de *La axiomática relativista*<sup>213</sup>), que es una perfecta muestra de su proceso de radicalización, quizá por el ambiente más propenso para ello precisamente por el carácter correspondiente a una conferencia. De hecho en los años 20 el Ateneo de Madrid ya fue sede de polémicas conferencias contra la teoría de Einstein. Como ejemplo llama a los partidarios de la relatividad, “los ultrarrelativistas”, que lo son por mantener “prejuicios relativistas” e incluye sentencias tan llamativas como las siguientes:

Si alguien se atreve a decir que la teoría de la relatividad se funda en postulados contradictorios, lo más probable es que sea tenido por uno de esos ilusos que todavía tratan de descubrir el movimiento continuo o la cuadratura del círculo. Y, sin embargo, es el propio Einstein quien advirtió que la contradicción existe. Es cierto que la califica de “aparente”, pero como en su teoría no cabe distinguir lo real de lo ficticio ni lo cierto de lo falso, pues todo es relativo, la cosa no queda en claro ni mucho menos.<sup>214</sup>

No he venido aquí para deslumbraros con una descripción de lo portentosa que sería la realidad en que vivimos si estuviese regida por la teoría de la relatividad. De esto se ha hablado ya bastante por quienes encuentran las teorías físicas tanto más admirables cuanto menos se entienden.<sup>215</sup>

Este recurso sobre que “todo es relativo” era un tópico más propio de la época de recepción. Palacios sabía de sobra que no era cierto, pero en el ámbito de una conferencia, posiblemente con público no especializado, era más impactante. Más adelante sigue con una de sus frases contundentes

A nadie extrañará el que, al interpretar las fórmulas matemáticas con una clave falsa, o sea cuando se da a los símbolos un significado que no tienen, resulte una sarta de desatinos que, por no satisfacer los requisitos formales de la lógica matemática, deja de ser disparatada.<sup>216</sup>

En el debate con Ramón Ortiz Fornaguera, ya comentado y que veremos más adelante en detalle, destaca la acritud con la que se muestra y el hecho de llevar la polémica a terrenos de política científica e incluso personales:

Sólo podrán sacar la teoría del atolladero en que se encuentra quienes logren librarse de los prejuicios relativistas, y no es de suponer que se presten a ello los que deben todo su prestigio a haberse especializado en la teoría de Einstein. De nuestras universidades salen promociones perfectamente capacitadas para llevar a cabo esta empresa, y lo harían si

---

<sup>213</sup> Palacios, *La axiomática relativista*. Colección Ateneo. Editora Nacional, Madrid 1966.

<sup>214</sup> *Ibidem*, p. 3.

<sup>215</sup> *Ibidem*, p. 12.

<sup>216</sup> *Ibidem*, p. 14.

encontrasen estímulo y dirección en los organismos que administran nuestra investigación teórica y experimental.<sup>217</sup>

Por otra parte, Palacios mostró reiteradas veces un cierto sentimiento de ser boicoteado por no ver difundidas sus ideas en medios extranjeros. Es posible que Palacios pudiera tener sus razones en sentirse agraviado si, como él se quejó reiteradamente, casi nunca le publicaron artículos que enviaba a revistas especializadas extranjeras. Un testimonio ajeno que pudiera justificar este sentimiento de Palacios lo tenemos en el historiador de la Ciencia William Berkson, que en su libro de 1974 (por lo tanto todavía recientes las polémicas de los años 60) *Fields of Force. The Development of a World View from Faraday to Einstein*, cuando se declara partidario de la visión de Faraday acerca de la teoría de campos frente a la de Einstein, advierte

Antes de enjuiciar la teoría de Einstein quisiera comentar brevemente los riesgos que conlleva cualquier crítica a la relatividad, sobre todo a la relatividad especial. La relatividad se ha convertido en algo sagrado, y su crítica es necesariamente sacrilega (actitud muy alejada de la del propio Einstein). Hay dos motivos que explican esta postura hacia la relatividad. El primero es que la relatividad fue objeto de ataques absurdos por el mero hecho de que su autor era judío. Este hecho bochornoso parece ser que convirtió a la relatividad en un símbolo de la Ilustración, cuyo máximo exponente ha sido siempre la ciencia. Y por tanto, todo ataque a la relatividad es automáticamente sospechoso de atentar veladamente contra la civilización y sus principios humanitarios, por los que Einstein luchó noble e incansablemente durante toda su vida. Pero me parece que una justa consideración del problema requiere otro enfoque: el desalentar la crítica a la relatividad va en contra de esos mismos principios de cultura y humanitarismo que la relatividad ejemplariza. Porque la obra de Einstein nos ha demostrado que hasta las teorías más duraderas son perfectibles, incluso de manera radical. Y la crítica abierta es la savia del progreso, tanto de la ciencia como de la cultura en general, como ha defendido persuasivamente Karl Popper.

Una segunda razón por la que cualquier crítica a la relatividad se ha mirado siempre con desconfianza es que se trata de una teoría tan profunda y comprensiva que, irónicamente, se ha llegado a considerarla como verdadera *a priori*.<sup>218</sup>

Al respecto hay que señalar que el mismo Palacios y varios autores remarcaban que el primero mantuvo correspondencia privada con múltiples personalidades y científicos

---

<sup>217</sup> Palacios, "La axiomática relativista. Réplica a los comentarios del Sr. Ortiz Fonaguera", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 59, 1965, p 460.

<sup>218</sup> Berkson, *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*, Alianza Editorial, 1985, p. 382. Al respecto, Berkson no cita ninguna ejemplo concreto de algún científico antirrelativista, parece que es una aclaración defensiva ante su posterior preferencia por la teoría de campos de Faraday.

extranjeros sobre la relatividad.<sup>219</sup> Uno de los casos más interesantes que ha trascendido, gracias a Glick, es la carta que Emilio Herrera dirige a su sobrino Juan Aguilera en 1966, en la que hace referencia a la correspondencia que mantenía con Julio Palacios al respecto. Tiene un indudable interés, porque sintetiza perfectamente la situación de Palacios en esos años y porque el mismo Herrera fue uno de los protagonistas en los años de recepción a la relatividad en España, inicialmente contrario a la teoría de Einstein, publicando además una alternativa sobre un universo hiperdimensional, como él mismo denominaba. Se muestra esta correspondencia en el apartado dedicado a los científicos exiliados.

En el reflejo del aislamiento de Palacios tomó partido también el diario *ABC* con un artículo de inequívoco título “Don Julio Palacios sostiene una controversia con el mundo entero en torno a la Teoría de la relatividad”<sup>220</sup>, donde se entrevista a Palacios y éste se queja de que, “En la física no se ha hecho nada nuevo en cuanto a las ideas”, y culpa de ello a la asunción acrítica de la relatividad. Parte de la entrevista ratifica plenamente la actitud radical de Palacios, e incluso anticientífica por plantear que la relatividad supuso un freno para la Física, cuando contesta de la siguiente forma:

- ¿en qué temas de la Física trabaja usted ahora concretamente?

- Estoy, amigo mío, en la cosa más interesante: sosteniendo, una controversia nada menos que con el mundo entero. Trabajo sobre dos aspectos apasionantes: el análisis dimensional y la teoría de la relatividad. En cuanto al primer tema, creo que está resuelto a favor de mis puntos de vista (aunque queden todavía obstinados que se resistan a aceptar mis estudios y afirmaciones). En cuanto al otro punto, al de la relatividad, resta aun mucho por hacer, pero creo que tengo razón. Yo voy en contra de las teorías de Einstein, pero en el mundo no se acepta con facilidad la oposición a tales teorías. Mantengo en relación con esto correspondencia de un gran interés con científicos ingleses, americanos, australianos...Mi punto de vista es que hay que atenerse a los hechos y que el principio de la relatividad no rige. Tengo muchos materiales sobre ello, y seguiré trabajando. Mire usted ...

[.....]

- ¿qué grandes físicos admiró usted más profundamente?

- Vuelvo a admirar ahora a los físicos que estudié en mi juventud: A Planck, sobre todo. Y, de aquella generación, también a Lorentz, a cuyas clases asistí en Holanda. Ellos llevaron a la Física por un excelente camino. Y cuando se podía esperar mucho vino la relatividad e impuso un cambio brusco en los rumbos que se seguían. Se ha transformado y modificado mucho, evidentemente, en este mundo de la Física, pero sólo

---

<sup>219</sup> Luis Bru, “Don Julio Palacios”, *Arbor*, nº 291, 1970, p 317; Elena Calleya de Palacios, *Semblanza científico-biográfica de Julio Palacios*, Amigos de la cultura científica, Santander, 1985.

<sup>220</sup> Montero Alonso, *ABC*, 30-11-1961, p. 31.



en cuanto a lo técnico. **En cuanto a las ideas no se ha hecho nada. Lo último continúa siendo aquello de Planck y Lorentz.**

[....]

- Y seguiremos, aun frente a muchos, en el estudio de ese nuevo enfoque, de esa nueva teoría de la relatividad, que reintroduce el éter en el mundo de la Física. <sup>221</sup>

No dejan de ser sorprendentes las palabras de Palacios, más cuando a lo largo de sus extensa producción sobre relatividad no citó nada sobre física cuántica relativista ni sobre aspectos observacionales de astronomía relacionados evidentemente con la relatividad.

Respecto a su postura conocida de no aceptar la paradoja de los relojes afirmó Palacios que “Ello, evidentemente, me coloca en una situación desairada, tanto más cuanto que, por razón de mi oficio, tengo que dar lecciones de relatividad”.

Vemos que Palacios es consciente de su posición un tanto incómoda. Un ejemplo de reflexión de Palacios respecto de esta impresión es la conclusión al texto de 1957, que no aparece en cambio en el libro de 1960.

Al emprender la tarea de elaborar una nueva teoría de la relatividad, basada en ecuaciones diferentes de las de Lorentz, nos dábamos perfecta cuenta de que nos lanzábamos a una aventura que, según todas las probabilidades, estaba condenada al fracaso. Parecía empresa descabellada abandonar una ruta que había conducido a los portentosos descubrimientos logrados por Einstein y que había sido embellecida por las aportaciones de los mejores matemáticos, físicos y filósofos contemporáneos. Siendo tan hermosa y tan fecunda la teoría de Einstein, ¿qué importaba el que los que no tuviésemos el cerebro privilegiado de su autor no lográsemos entender lo que nos decía acerca del tiempo y del espacio? ¿No sería preferible atenemos a la buena lógica matemática y aceptar las consecuencias de los postulados relativistas mientras no estuvieran en contradicción con los hechos y aunque nos resultasen incomprensibles?

Pero es el caso que las nuevas fórmulas nos han llevado, sin necesidad de nuevas hipótesis, a las mismas consecuencias que, por haber sido comprobadas experimentalmente, se consideran como pruebas irrefutables de la teoría de Einstein. Claro es que la validez de la nueva teoría queda supeditada a lo que resulte de nuevos descubrimientos; pero sea como fuere, ya no se puede decir que la teoría de Einstein sea la única capaz de explicar los hechos conocidos hasta la fecha, y que tengamos que renunciar a las nociones newtonianas del tiempo y del espacio.

La novedad más importante de la nueva teoría consiste, a nuestro juicio, en que, según ella, las constantes universales no son invariantes, sino

---

<sup>221</sup> *Ibidem*, p. 34. El énfasis es mío, lo que demuestra la radicalidad de Palacios y lo ausente que estaba de la actualidad en Física.

que cambian de valor cuando se pasa del espacio en reposo absoluto a otro sistema inercial cualquiera o a un campo gravitatorio.

En varios medios se quejó Palacios de una especie de boicot para no ver publicados sus artículos en el extranjero, a pesar de que “La Real Academia de Ciencias publica en idiomas extranjeros mis trabajos y el mismo privilegio me conceden las Academias de Ciencias de Portugal y Argentina”.<sup>222</sup> Uno de sus artículos ( “El hundimiento de una teoría, *ABC*, 29-11-1962) lo envió a Pascal M. Rapier para que valorara la posibilidad de publicarlo en medios científicos americanos. Rapier era un físico valedor de la vuelta al esquema clásico newtoniano y director de la “Newtonian Science Foundation” en Richmond, California. En la revista de la *R. Acad. Ciencias de Madrid* publicó varios artículos antirrelativistas con el auspicio de Palacios. Según cuenta Palacios, su artículo lo tradujo Rapier con el título de “The downfall of a Theory” e intentó que se publicara remitiéndolo a diversas revistas, pero ante el rechazo a su publicación decidió hacerlo en el boletín de la fundación mencionada.<sup>223</sup> En el mismo artículo se acusa al propio Einstein de incitar la “consigna” del silencio en los últimos años de su vida. Se basa, para esta grave acusación, en una carta que le remitió un corresponsal de prensa en la que se indicaba que Einstein impugnó la publicación de una solución a las ecuaciones de campo unificado establecida por un matemático checo. Artículos de similares características y de inequívocos títulos son “El apartheid relativista” (Palacios, *ABC*, 8-5-1968) y “Bronca en la Física” (Lorenzo Berrazueta, *ABC*, 16-8-1963)

A pesar de este sentimiento personal del físico español, su escritura fluida y entretenida dejaba de vez en cuando espacio para el humor y la ironía. El siguiente párrafo, en el que comenta una anécdota relacionada con el supuesto boicot, no tiene desperdicio:

No puedo resistir la tentación de relatar una anécdota que viene muy a cuento. Mi amigo Masriera, que escribe magníficos artículos de vulgarización en «La Vanguardia» de Barcelona, me informó de que el profesor Alan Mayne, de la Universidad de Leeds, Inglaterra, tenía el propósito de publicar un libro titulado «Half Baked Ideas» (Ideas a medio cocer), en el que recogería todo aquello que, hallándose aún en estado embrionario, pudiese abrir nuevos cauces a la investigación. Por curiosidad, y por complacer a Masriera, envié a Leeds un artículo en inglés en el que demostraba que la interpretación correcta de los experimentos realizados con interferómetros conducían a mi teoría y no a la de Einstein. Transcurrieron algunos meses y, por fin, a comienzos de agosto quedó satisfecha mi curiosidad. En forma muy cortés se me

<sup>222</sup> Palacios, “La conjura del silencio”, *ABC*, 24-9-1963.

<sup>223</sup> Probablemente esta fundación ya haya desaparecido, ya que no he encontrado ninguna referencia en Internet. Tampoco en las consultas sobre revistas científicas aparece ninguna publicación, boletín o similar de esta fundación. Rapier sí aparece como colaborador científico en algunos medios y concretamente en el Proyecto Mueller *95 years of criticism of the Special Theory of Relativity (1908-2003)* se cita varios artículos suyos en diferentes revistas americanas, inglesas y americanas, así como los aparecidos en la *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, pero no hay ninguna referencia a esta fundación. Con el carácter enciclopédico de este proyecto parece probable la escasa relevancia del boletín de la fundación dirigida por Rapier.

devolvía el manuscrito porque, según los expertos, su contenido era demasiado difícil para los profesores (*teachers*) ingleses de grado medio.

Mi primera idea fue dar por terminado el asunto, pero luego se me ocurrió poner a prueba el juego limpio inglés y su sentido del humor. Escribí expresando mi sorpresa de que fuese difícil un razonamiento en el que se hacía uso tan sólo de un teorema de Geometría elemental. Añadía que el artículo, en cuestión había sido publicado por nuestra Real Academia de Ciencias y que acababa de recibir un pedido de 500 separatas para ser distribuidas en Norteamérica, a pesar de lo cual no podía creer que los *teachers* americanos estuviesen mejor preparados que los ingleses. En fin, proponía que el título completo del proyectado libro fuese: «Half Baked Ideas for Half Bake Brains» (Ideas medio crudas para cerebros a medio cocer).

Mi punzante ironía produjo el efecto esperado. He recibido todo género de explicaciones y disculpas, a las que he contestado extremando los buenos modos, y hemos quedado muy buenos amigos. Pero... ya era tarde para la publicación de mi artículo. En todo caso, me prometen estudiarlo a fondo y hacer una mención. Ya es algo.

Ahora espero noticias de cómo es recibido mi artículo en los Estados Unidos, pero no me hago ilusiones. Mi experiencia me ha hecho ver que también allí es tabú el éter, y mis impresiones se confirman con el testimonio de Rapiér, presidente de la *Newtonian Science Foundation*, que no encuentra otro lugar para combatir la teoría de Einstein que la sección de «cartas al editor» en las revistas científicas de su país, por lo que piensa obsequiar a los consejeros con un letrado de los que se encuentran en todos los supermercados, y que dice así: *My mind's made up. Don't disturb me with facts* (Mis ideas son firmes. No me venga usted con hechos).

Desde mi punto de vista, la relatividad es la teoría científica sobre la que más se ha escrito con sentido crítico, tanto científicamente como de forma poco rigurosa, exceptuando quizás el darwinismo. A pesar de ser Palacios un físico de prestigio, no era suficientemente conocido en el extranjero y se recibían en muchas revistas multitud de escritos sobre el tema, de los cuales también se publicaron muchos contrarios a la relatividad. El reciente proyecto Mueller, citado anteriormente, es una prueba de que dicho boicot no era, ni mucho menos generalizado. De hecho la relatividad es una de las teorías científicas sobre la que más comprobaciones experimentales se han realizado, así como intentos experimentales de refutación, tal como cuenta Clifford M. Will en su libro *Was Einstein Right?*.<sup>224</sup> Con los sucesivos éxitos, o mejor dicho no refutaciones, de la relatividad es razonablemente lógico que no se priorizasen estudios teóricos que no contuvieran propuestas experimentales, como era el caso de Palacios. Creo que la actitud de Palacios, en algunas ocasiones no ayudó precisamente a que se reconsiderara su prestigio, por ejemplo con la

---

<sup>224</sup> Nueva York, 1986. Existe edición española, ¿Tenía razón Einstein?, la espectacular comprobación científica de la teoría de la relatividad, Gedisa, Barcelona, 1989.

disparatada comparación de la paradoja de los relojes con la filosofía hegeliana en cuanto al sistema tesis-antítesis-síntesis, o algunas expresiones inapropiadas de su valía como físico y como escritor. Otra circunstancia que pudo influir en sus desprestigio respecto a la relatividad es su reacción poco prudente con el experimento de Kantor y quizá, su excesiva producción de artículos, muchas veces repetitiva, además de su ausencia total de referencias a la mecánica cuántica relativista.

Un aspecto que podría estar asociado con la lucha de Palacios por difundir su teoría en la comunidad científica internacional, ante su fracaso en la publicación de revistas especializadas en física teórica de prestigio (salvo *Nuevo Cimento*), es la publicación en inglés en la *Revista R. Acad. Ciencias de Madrid* y en francés en *Anales de Física*. Parece lógico que Palacios buscara esta alternativa para que su teoría pudiera tener mayor resonancia.

Es posible que intentara publicar en otros medios internacionales, pero no tenemos constancia de estos intentos. En uno de los escritos en homenaje a Palacios con ocasión de su fallecimiento, Luis Bru afirma que, respecto a la relatividad, “mantuvo voluminosísima correspondencia con docenas y docenas de especialistas”<sup>225</sup>, pero esta información, indudablemente de interés excepcional, no la he podido localizar.

Pero es conveniente aclarar que, a pesar de su escasa proyección internacional en lo referente a la relatividad, en su época de trabajo experimental en los años 20 y 30, sí logró publicar en revistas de reconocido prestigio como *Annalen der Physik* o *Scientia*, pero ninguno de estos trabajos estaban relacionados con relatividad. También en esos años publicó bastante en *Anales de Física* pero, en cambio, en su fase antirrelativista prefirió la *Revista de la R. Acad. de Ciencias Madrid* frente a la de la *Soc. Esp. Física y Quím.*, que en cuestiones de Física era más especializada.

En relación con este intento de prestigiarse está el ejemplo de un artículo de 1969 donde en la firma, aparece como “President of the Spanish Royal Academy of Sciences, in Madrid, and Rector of The International Centre for Mechanical Sciences.”<sup>226</sup> En el mismo escrito cuando cita su libro de Análisis Dimensional, lo hace en su versión inglesa *Dimensional Análisis* (Macmillan, London, 1964). En otros textos también citó frecuentemente sus ediciones en inglés y francés de su *Análisis Dimensional*, incluso cuando estaban en fase de impresión.

Respecto a la búsqueda de apoyos por parte de Palacios, a lo largo de sus trabajos quiso dejar claro que su teoría no era la obra de una persona aislada. Continuamente buscaba, mediante sus correspondientes citas, apoyos en otros científicos que habían razonado de forma similar a él, incluso, aunque aquí se mostró más confuso y ambiguo, también parecía buscar apoyos en reconocidos autores relativistas que propugnaban alguna alternativa en métodos deductivos, como el caso de Sommerfeld, algunas veces malinterpretando sus argumentos. También intentó auspiciar la presentación de otros autores que defendieran sus ideas, presentando artículos de terceros en la revista de la academia madrileña, de la que fue presidente.

<sup>225</sup> Luis Bru, *Arbor* n°291, 1970, p100.

<sup>226</sup> Palacios, “Incompatibility of the theory of relativity with Giorgi's System of units”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1963, v 63, p 467.

En una nota al pie de uno de sus trabajos, Palacios constata lo anteriormente indicado:

El profesor Karl Sapper, de la universidad de Graz (Austria), ha iniciado una serie de publicaciones en las que se da cabida a todas las ideas sobre relatividad, sin censura previa. En Richmond (California) se ha creado la *Newtonian Science Foundation*, presidida por P. M. Rapier, que trata de volver la investigación científica a los cauces marcados por Newton. El físico húngaro L. Jánossy, gran autoridad en radiación cósmica, es antirrelativista. En Francia, donde siempre ha habido físicos de primera categoría que se han resistido a aceptar la teoría de Einstein, hay un grupo, capitaneado por F. Prunier, que propugna el postular la existencia del éter. En la revista "Euclides", vol. 12, pág. 42 (1952) y vol. 15, pág. 313 (1955) ha publicado R. d' Aubry de Puymorin artículos con la misma tendencia. Ya hemos dicho cómo en Hispanoamérica, G. García (Perú) y J. Álvarez López (Argentina) critican la relatividad, y todavía hemos de añadir el nombre de J. C. Cervi, también argentino. En fin, en los países de habla inglesa abundan los físicos (Dingle, Burniston Brown, Essen, Swann, Buüder, etcétera) que niegan abiertamente la validez de la teoría einsteniana o le ponen reparos.<sup>227</sup>

En su libro *Relatividad. Una nueva teoría* se apoya en Sommerfeld varias veces a lo largo del texto, siempre sobre el manual de su famosa *Electrodynamics. Lectures on Theoretical Physics III*, un manual de referencia clásico que se publicó en 1934 y reeditó en 1948 y en 1952 en la edición inglesa publicada en New York a la que se refiere Palacios.

Recordemos que Sommerfeld, físico alemán contemporáneo de Einstein, fue el que introdujo las correcciones relativistas en la órbita del electrón para explicar la estructura fina de las rayas espectrales del átomo de hidrógeno, mejorando así el modelo atómico de Bohr, que pasó a denominarse modelo de Bohr-Sommerfeld.

El recurso a Sommerfeld en su libro de 1960 se produce en varias referencias:

- Intenta explicar el resultado nulo del experimento de Michelson-Morley por la teoría balística de la luz. Entre otros, esta idea, según cita Palacios, la defendió Mathias, Whittaker y Sommerfeld para el que refiere el libro *Electrodynamics*, pero sin citar la página. He repasado concienzudamente dicho libro pero no he encontrado nada al respecto. La única referencia del experimento de Michelson-Morley por Sommerfeld aparece en el primer tomo de *Lectures on Theoretical Physics* y no dice nada significativo que pueda interpretarse en el sentido indicado por Palacios. Puede que Palacios se refiera a otro texto de Sommerfeld o bien que interprete erróneamente, o fuera de contexto sus palabras, lo que ya hemos visto que ocurrió con Einstein respecto al éter o con Dirac, como se trata más adelante.
- Se apoya en Sommerfeld en su teoría de la invalidez de las ecuaciones de Maxwell en terminología gaussiana, en la que la permitividad eléctrica y la

---

<sup>227</sup> Palacios, "El enigma de la Teoría de la Relatividad, II La crisis", *Arbor*, 1961, p. 44.

permeabilidad magnética se igualan a 1 y sólo aparece  $c$  como la única constante universal en las ecuaciones. La forma correcta es la del sistema Giorgi. Aunque esta idea sí aparece en el texto de Sommerfeld, para éste no implicaba ninguna contradicción con la relatividad. En cambio Palacios afirma que la idea de Einstein de la equivalencia de sistemas inerciales es consecuencia de la invarianza de  $c$  y de las ecuaciones del campo electromagnético, y sólo es válida si se usan las ecuaciones de Maxwell de forma gaussiana, y no si se usan correctamente.

- Otro apoyo de Palacios es todo el desarrollo realizado en el capítulo de relatividad general para el cálculo de las consecuencias de la misma, en el que sigue, como él dice “*mutatis mutandis* el camino utilizado por Sommerfeld”. Esto es cierto sólo parcialmente, ya que no coincide la parte inicial del desarrollo basado en su propia teoría en la que salva el tiempo absoluto.

En varios trabajos citó como apoyo de su postura los debates producidos en la visita de Einstein a Francia, en 1922. (Recordemos que en Francia en esos años de pleno proceso de recepción de la relatividad había una cierta resistencia a la misma). En “The relativistic behaviour of clocks”<sup>228</sup>, cita las publicaciones en 1922 de Max Morand de los debates al respecto entre Einstein y Painlevé en el *College de France*, que aparecieron en *La Nature*, Abril 1922, Pág. 315 y realiza un breve resumen de los mismos.

Otro ejemplo de búsqueda de referencias favorables fue la cita de Weinstock en *American Journal Physics* de 1964<sup>229</sup> donde se plantea el problema matemático de la invarianza de la ecuación  $x^2+y^2+z^2=c^2t^2$  y que da lugar a unas ecuaciones de transformación generales que incluyen las de Lorentz y las de Voigt que apuntarían a la nueva teoría de Palacios.

Otro caso en que Palacios utiliza una cita sacada de contexto y además incompleta que induce a confusión es cuando hace uso de Dirac para recuperar la idea del éter. Dice textualmente Palacios a modo de conclusión en su artículo “¿Existe el éter?”

Se puede creer en la existencia del éter. Para quienes no estén convencidos y se dejen impresionar por quienes afirman que debe ser arrinconado como el flogisto, el lumínico, el calórico y demás fluidos hipotéticos caducos, aduciré la autoridad de Dirac, [cita al pie *The Scientific Monthly*, v 78, 1954, p 142], premio Nóbel, por ser uno de los que más ha descollado en el cultivo de la Mecánica Ondulatoria.

En un artículo titulado “El tiempo absoluto”, termina diciendo:

De este modo renacen los viejos conceptos del éter y del tiempo absoluto, que encajan perfectamente en los principios generales establecidos en la actualidad. Estaría dispuesto a prescindir del éter de modo definitivo, si se hubiese logrado sin él una teoría enteramente satisfactoria. Pero el que no haya sido así después de tantos años de intenso trabajo, me induce a

<sup>228</sup> *R. Acad. Ciencias de Madrid*, vol. LVI, 1962, P. 287-306

<sup>229</sup> *Am. Jour. Ph.* vol. 32, p. 261.

pensar que la teoría sin éter ha llegado al límite de sus posibilidades, y veo en el éter una esperanza para el futuro.<sup>230</sup>

Con esta cita de Palacios, evidentemente me he visto obligado a consultar el artículo de Dirac y de una atenta lectura del mismo, no se puede coincidir con su conclusión. Primero Palacios olvida que Dirac se está refiriendo exclusivamente al campo de la mecánica cuántica, donde sabemos que hay un problema de incompatibilidad de leyes respecto a la física macroscópica. Del artículo de Dirac no se puede deducir ninguna duda sobre la aplicación de la relatividad en el dominio clásico (donde no aplica la influencia de la constante de Planck). Además Palacios, no traduce el texto de Dirac de forma completa. Donde sitúa los puntos suspensivos excluye precisamente el texto de Dirac que implica una interpretación incorrecta del mismo, o cuanto menos incompleta. Del texto de Dirac completo se deduce que, como hipótesis, no cabría descartar la recuperación del tiempo absoluto y de una especie de éter, pero exclusivamente en el dominio cuántico y para explicar fenómenos de interacción en los que domina el principio de incertidumbre. Ahora bien, el mismo Dirac aclara que tampoco se podría descartar lo contrario y que el tema, siempre en el dominio cuántico, está pendiente. Veamos sus palabras textuales sin elipsis (destaco en negrita lo que omite Palacios, omisión que creo podría implicar una interpretación limitada del texto):

In this way the old ideas of aether and absolute time become alive again and can be brought into agreement with all the general physical principles established at the presente day.

I would like to emphasized that **the foregoing discussion does not prove the existence of an aether or of absolute time. It merely shows that these concepts are not inconsistent, when one applies them in a setting of quantum mechanics**, and so there is no immediate reason for rejecting them. Whether nature has actually made use of them or not is another question.

I do not believe the question can be answered by any general philosophical arguments. The only way to decide it is to make a detailed mathematical investigation and see wether one gets a better description of nature with or without an aether.

Physical theory without an aether has been developed a long way, and has had a great deal of success. It will be necessary to develop an equally comprehensive theory with the aether and achieve an even greater success in order that the existence of the aether be considered proved.

Because I have spoken so much about the aether, it does not mean that I am necessarily in a favour of it. I would be quiet willing to give up all idea of the aether if a satisfactory theory could be set up without it. It is only the failure of the world's physicists to find such a theory, after many years of intensive research, that leads me to think that the aetherless

---

<sup>230</sup> Palacios, "¿existe el éter", *Crisis*, 1961, p. 412.

basis of physical theory may have reached the end of its capabilities and to see in the aether a new hope for the future.<sup>231</sup>

Creo que este texto de Dirac demuestra la errónea interpretación de Palacios y le deja en evidencia por el uso intencional de algunas citas como ésta.

Otro aspecto característico de “la cruzada de Palacios” fue la búsqueda de apoyos en otros científicos antirrelativistas, nacionales y extranjeros, para que escribieran artículos en *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* y en la *Revista R. Acad. Ciencias de Madrid*. Es evidente la influencia que pudo ejercer Palacios para facilitar estas publicaciones, no olvidemos que desde 1958 era vicepresidente de la academia madrileña. Ejemplos hay varios, la dirección de trabajos de Díaz Bejarano, de Jesús Biel y la dirección de tesis de Antonio Herranz. La contribución de estos autores se analiza en el apartado 4.7 dedicado al mantenimiento de posiciones ambiguas frente a la relatividad.

Pero donde Palacios puso más ímpetu fue en lograr colaboraciones de físicos extranjeros, todos destacados antirrelativistas que ya habían publicado textos similares en sus países de origen. Los más señalados fueron Rapier, Mohorovicic y Podlaha. También colaboraron con Palacios otros menos conocidos, como el físico argentino antirrelativista Juan Carlos Cervi, quien publicó una obra un tanto hagiográfica de Palacios, *El pensamiento vivo de Julio Palacios* (Instituto privado de investigaciones físicas y biofísicas, Córdoba, R. Argentina, 1971). Estos casos se detallan en el apartado 4.11 dedicado a las publicaciones sobre relatividad de científicos extranjeros en España.

---

<sup>231</sup> Dirac, “Quantum Mechanics and the Aether” *The Scientific Monthly*, v 78, 1954, p 142.



#### 4.5. EL GRUPO DE FÍSICOS RELATIVISTAS EN FRANCIA (BEL, CAPELLA, MAS Y DE RAFAEL)

Vimos en el apartado 4.1 la importancia de la política de becas francesa para la promoción investigadora en física teórica, con la que un nutrido grupo de licenciados españoles en ciencias pudieron comenzar su carrera investigadora en el país vecino. De este grupo nos interesa el caso de los físicos licenciados por la Universidad de Barcelona, Lluís Bel, Alfonso Capella, Lluís Mas, ya que trabajaron sobre relatividad general, y, en menor medida, el de Eduardo de Rafael por sus investigaciones en mecánica cuántica y física nuclear, que incluyeron algunos aspectos de mecánica cuántica relativista. En concreto, los tres primeros aportaron contribuciones realmente originales en relatividad general, especialmente Bel, quien tuvo reconocimiento internacional entre los físicos más destacados por sus trabajos sobre radiación gravitacional.

Surge aquí la interesante pregunta de si esta contribución es realmente de la ciencia francesa o española. Bel, Capella y Mas realizaron los estudios de doctorado y las respectivas tesis doctorales en Francia, salvo Mas que la presentó en 1970 en Barcelona, dirigida por el físico matemático francés Lichnerowicz. A pesar de que, afortunadamente, ya en esa época la ciencia cada vez era más internacional, debido a la situación específica de España (con un retraso económico evidente respecto de Europa Occidental, que se reflejaba en la escasez de medios económicos para la política científica, especialmente la puramente teórica), en mi opinión creo que es justo reconocer que, científicamente, tanto Bel como Capella y Mas son “productos” franceses. Ahora bien, el hecho de que su formación inicial fuera en España y que mantuvieron con su país de origen fuertes vínculos, entre los que cabe destacar la participación de Bel y Capella en la primera reunión de física teórica realizada en Santander en 1965, donde expusieron sus principales aportaciones, hace necesario estudiar sus trabajos en el ámbito de un estudio sobre la relatividad en España. Además a Lluís Bel se le considera, acertadamente, el padre de los relativistas españoles, siendo mentor de un grupo específico de investigadores, actualmente físicos relativistas de prestigio. De hecho, entre 1970 y 1973 Bel residió en nuestro país formando parte del grupo de profesores e investigadores de la recién inaugurada Universidad Autónoma de Madrid, donde realizó interesantes trabajos sobre relatividad, en colaboración con otros colegas españoles, como Jesús Martín o Enrique Álvarez, aspecto sobre el que volveremos en el capítulo quinto, dedicado al período posterior a 1970.

Nuestros tres protagonistas fueron dirigidos por André Lichnerowicz (1915-1998) para sus trabajos de investigación y respectivas tesis doctorales. Lichnerowicz era un físico matemático francés de origen polaco, que destacó en geometría diferencial aplicada a la relatividad general. Publicó obras de referencia consideradas como clásicas en relatividad, como *Problèmes globaux en Mécanique relativiste* (Paris, Hermann, 1939), *Les Théories relativistes de la gravitation et de l'électromagnétisme* (Paris, Masson, 1954), *Propagateurs et commutateurs en Relativité générale* (Paris, P.U.F., 1961), o *Relativistic Hydrodynamics and Magnetohydrodynamics*, New York, Benjamin, 1967.

## 4.5.1. LA TEORÍA DE LA RADIACIÓN GRAVITACIONAL DE LLUIS BEL

Lluis Bel, nacido en 1933, se licenció en Físicas por la Universidad de Barcelona, viajando a Francia para realizar estudios de doctorado, donde se doctoró en 1960 en la Universidad de París con la tesis *La radiation gravitationnelle*, bajo la dirección de Lichnerowicz. Desde 1958 ya presentó varios trabajos que adelantaban los resultados de dicha tesis. Aparece citado en las referencias en libros clave de la literatura relativista, como el de Misner, Thorne y Wheeler, *Gravitation*, en concreto sus artículos "Sur la radiation gravitationnelle" (*Comptes Rendus Acad. Sci. Paris*, 1958), "Introduction d'un tenseur du quatrième ordre" (*Comptes Rendus Acad. Sci. Paris*, 1959) y "La radiation gravitationnelle", *CNRS*, 1962. También aparece citado en multitud de artículos de revistas especializadas. En cualquier caso, es una autoridad reconocida en relatividad general, especialmente en radiación gravitacional, así como por el establecimiento de un nuevo tensor usado frecuentemente por los especialistas, conocido como tensor de Bel-Robinson.

Las principales aportaciones de Lluis Bel sobre relatividad se pueden dividir en cuatro grupos: radiación gravitacional, soluciones de las ecuaciones de campo, teoría cinética de la cosmología y mecánica relativista predictiva. Aunque sobre estos temas trabajó originalmente en Francia, sobre radiación gravitacional expuso en España un resumen de su teoría en 1965 y sobre mecánica relativista predictiva impartió un curso específico en nuestro país en 1976. Este último tema creo más conveniente tratarlo en el siguiente capítulo, dedicado al periodo 1970-1979.

En cuanto a la radiación gravitacional, u ondas de gravedad, ya desde 1918 se empezó a considerar este problema como consecuencia de la relatividad general, pero se relegó al poco tiempo y no fue hasta mediados de los años cincuenta cuando se retomó entre la comunidad científica. Einstein pensó en ello y derivó una fórmula para determinar la pérdida de energía de un sistema que emite ondas gravitacionales cuando dos cuerpos interactúan gravitacionalmente de forma intensa, este cálculo fue corregido posteriormente por Eddington. El trabajo de Einstein se publicó en 1916 y "eso fue todo lo que se dijo sobre el tema en más de 40 años"<sup>1</sup>. Según señala Clifford Will, en 1960 se reanudó el tema de la radiación gravitacional en el ámbito teórico como un efecto observable, aunque muy pequeño<sup>2</sup>. También se recuperó la idea de radiación gravitacional en cuanto a comprobación experimental cuando Joséph Weber empezó a plantearse la construcción de detectores de ondas gravitacionales provenientes del exterior. Aunque en 1960 Weber anunció dicha detección, la repetición de los experimentos la descartó, hasta que en 1974 se descubrió el pulsar binario, lo que reanudó la posibilidad de comprobación experimental de las ondas gravitatorias. Volveremos más adelante sobre este asunto, en el capítulo quinto.

---

<sup>1</sup> Clifford M. Will, *¿Tenía razón Einstein?, la espectacular confirmación científica de la teoría de la relatividad*, Gedisa editorial, Barcelona, 1989, pág 157 (obra original: *Was Einstein Right*, Nueva York, 1986).

<sup>2</sup> Como se puede comprobar, Will no conocía los trabajos anteriores a 1960 de Bel y Lichnerowicz, probablemente por la influencia en sus fuentes del mundo anglosajón.

Para Bel, el problema de la radiación gravitacional, o detección de ondas de gravitación, es importante por dos razones: porque la teoría de la radiación gravitacional es el aspecto más original de la relatividad general y porque el establecimiento de una teoría macroscópica de la radiación gravitacional es un paso previo al de la cuantificación del campo gravitatorio. Según Bel, para plantear una teoría de la radiación gravitacional hay que establecer una analogía con la teoría de la radiación electromagnética en relatividad restringida.

Hay que recordar que, en relatividad general, el elemento de línea (al que Bel denomina elemento primitivo) es una variedad diferenciable  $V_4$  (que es el espacio-tiempo) de dimensión 4 provista de una métrica riemanniana, es decir cuya expresión es  $ds^2 = g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta$  donde los  $g_{\alpha\beta}$  son los potenciales de gravitación, con lo que esta forma cuadrática dada por  $ds^2$  describe tanto la estructura del espacio-tiempo como la del campo gravitatorio.

Según el principio de covariancia general, un enunciado de una teoría puede ser susceptible de poseer interpretación física si dicho enunciado se puede expresar mediante una relación tensorial. Un ejemplo de este tipo de enunciado son las ecuaciones del campo gravitatorio de Einstein, en las que las ecuaciones de conservación vienen dadas por la derivada parcial covariante del tensor energía-impulso, es decir  $\nabla_\alpha T^\alpha_\beta = 0$ .

El principio de covariancia general es considerado por la mayoría de los relativistas como inviolable, pero para algunos, como Fock, este principio carece de significado físico. Además, y en esto sí están de acuerdo los relativistas que defienden la inviolabilidad del mismo, es origen de importantes dificultades en cuestiones de cálculo, por lo que a veces se viola al usar sistemas de coordenadas privilegiados, con el objeto de simplificar los cálculos. Una de las formas de disponer de un sistema privilegiado es hacer uso de la condición de armonicidad, donde se usan coordenadas armónicas (o isotermas) que son en realidad una generalización de las coordenadas rectilíneas de la relatividad especial. Sin embargo, a menudo se usan por facilitar los cálculos en muchas aplicaciones particulares, ya que dichas coordenadas hacen que en el tensor de Einstein se separen las derivadas segundas de los potenciales de gravitación.

Para la simplicidad de cálculos lo ideal sería que, a partir de las componentes del tensor métrico, es decir de los potenciales de gravitación, y de sus derivadas primeras se pudiera construir algún tensor relacionado con el campo gravitatorio, pero en principio, eso no parece posible.

Para el propósito de desarrollar una teoría coherente de la radiación gravitacional, igualmente habría que disponer de una especie de tensor de energía-impulso del campo gravitatorio y que permita describir transportes de energía en el vacío o lo que es lo mismo procesos de radiación gravitatoria.

Bel consigue obtener un pseudo-tensor  $t^\alpha_\beta$ , pues en realidad no es un tensor, de energía-impulso del campo gravitacional. Partiendo de las ecuaciones de campo

$S_{\alpha\beta} = R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2}Rg_{\alpha\beta} = \chi T_{\alpha\beta}$  (donde  $S_{\alpha\beta}$  es el tensor de Einstein,  $R_{\alpha\beta}$  el de Riemman o curvatura,  $g_{\alpha\beta}$  el tensor métrico y  $T_{\alpha\beta}$  el de energía-impulso), se puede obtener unas ecuaciones de la forma

$\partial_\alpha[\sqrt{-g} (T^\alpha_\beta + t^\alpha_\beta)] = 0$ , que en el vacío son  $\partial_\alpha[\sqrt{-g} t^\alpha_\beta]$  y se puede demostrar que describen el transporte de energía.

Uno de los problemas de las ecuaciones de campo de Einstein es que no son lineales, dificultad que se puede soslayar con la hipótesis suplementaria de un campo débil, que se obtiene en una primera aproximación. Esta primera aproximación se puede contemplar eligiendo convenientemente un sistema de coordenadas tal que los potenciales de gravitación toman la forma

$$g_{\alpha\beta} = \eta_{\alpha\beta} + h_{\alpha\beta} + \dots$$

donde  $\eta_{\alpha\beta}$  son las componentes en la métrica de Minkowski en coordenadas rectilíneas  $(-1, +1, +1, +1)$  y  $h_{\alpha\beta}$  cantidades mucho menor que 1 en valor absoluto. De esta forma, la teoría general se reduce a una teoría en la cual la variedad diferenciable de base es el espacio-tiempo de Minkowski y el campo gravitacional se describe por un tensor métrico  $h_{\alpha\beta}$ . Se obtienen las ecuaciones de conservación  $\partial_\lambda T^\mu_\lambda = 0$ , que son la parte principal de las ecuaciones de conservación más generales  $\nabla_\alpha T^\alpha_\beta = 0$ .

Para Bel se puede desarrollar la teoría de la radiación gravitacional mediante un estrecho paralelismo con la de la radiación electromagnética. Se consigue un sistema de ecuaciones de la forma

$$\square \alpha_{\lambda\mu} = -2\chi T_{\lambda\mu}$$

$$\partial_\lambda \alpha^\lambda_\mu = 0 \quad \text{donde } \alpha_{\lambda\mu} = h_{\lambda\mu} - \frac{1}{2} h \eta_{\lambda\mu}$$

Considerando un tiempo retrasado en el punto e instante en el que se calcula  $\alpha_{\lambda\mu}$ , la teoría de la radiación gravitacional se basa en el estudio de las soluciones retrasadas del anterior sistema de ecuaciones. Esta teoría es lineal, pero el problema está en saber si es la primera aproximación de un proceso convergente.

En realidad, lo que hay que buscar es una definición satisfactoria de estado de radiación gravitacional dentro del marco de la teoría general, es decir sin aproximaciones lineales, lo que Bel denomina teoría exacta. El punto de partida consiste en comparar el tensor campo electromagnético  $F_{\lambda\mu}$  con el tensor de curvatura, admitiendo que éste sea el tensor de campo gravitatorio. La condición necesaria y suficiente para que un entorno de un punto  $x$  de  $V_4$  sea localmente plano, y por lo tanto que no haya campo gravitatorio en él, es que el tensor de curvatura sea nulo en dicho entorno. A pesar de las dificultades que se derivan de esta condición, Bel anuncia que se puede establecer una teoría cualitativa satisfactoria de la radiación gravitacional en relatividad general.

El tensor de curvatura  $R_{\alpha\beta, \lambda\mu}$  es un tensor de rango 4 con unas propiedades de simetría establecidas de la forma

$$R_{\alpha\beta, \lambda\mu} = -R_{\beta\alpha, \lambda\mu} = -R_{\alpha\beta, \mu\lambda}$$

$S_{(\beta\lambda\mu)} R_{\alpha\beta, \lambda\mu}$  donde  $S_{(\beta\lambda\mu)}$  indica la suma sobre la permutación circular de los tres índices.

$$R_{\alpha\beta, \lambda\mu} = R_{\lambda\mu, \alpha\beta}$$

Resulta útil asociar al tensor de curvatura tres nuevos tensores, denominados dual a la izquierda, dual a la derecha y bidual, cuya definición viene dada a partir del tensor elemento de volumen  $\eta_{\alpha\beta\lambda\mu} = (-g)^{1/2} \delta_{\alpha\beta\lambda\mu}$  (siendo  $\delta$  el indicador completamente antisimétrico de Levi-Civita), de la siguiente forma:

$$*R_{\alpha\beta, \lambda\mu} = \frac{1}{2} \eta_{\alpha\beta\rho\sigma} R^{\rho\sigma}_{\lambda\mu}$$

$$*R_{\alpha\beta, \lambda\mu} = \frac{1}{2} \eta_{\lambda\mu\gamma\delta} R^{\gamma\delta}_{\alpha\beta}$$

$$*R^*_{\alpha\beta, \lambda\mu} = \frac{1}{4} \eta_{\alpha\beta\rho\sigma} \eta_{\lambda\mu\gamma\delta} R^{\rho\sigma, \gamma\delta}$$

Para el caso del vacío, las ecuaciones de campo son  $R_{\alpha\beta}=0$  (siendo  $R_{\alpha\beta}=g^{\rho\sigma}R_{\alpha\rho, \beta\sigma}$ ) y se puede demostrar que el tensor bidual coincide con el de curvatura cambiado de signo y que el dual a la izquierda y el dual a la derecha coinciden, de esta forma se habla simplemente de dual del tensor de curvatura, al que denominamos  $R^*$ .

También se pueden construir, con el tensor de curvatura y su dual, cuatro escalares que serán útiles para la teoría de la radiación gravitacional buscada:

$$A = (R, R) = \frac{1}{4} R_{\alpha\beta, \lambda\mu} R^{\alpha\beta, \lambda\mu}$$

$$D = (R, R, R) = \frac{1}{8} R_{\alpha\beta, \lambda\mu} R^{\lambda\mu}_{\rho\sigma} R^{\alpha\beta, \rho\sigma}$$

$$B = (R, R^*)$$

$$E = (R, R, R^*)$$

Dada una solución de las ecuaciones de campo  $R_{\alpha\beta}=0$ , que son ecuaciones para los  $g_{\alpha\beta}$ , podemos considerar el sistema de ecuaciones dado por

$$S_{(v\lambda\mu)} \nabla_v R_{\alpha\beta, \lambda\mu} = 0$$

$$\nabla_\alpha R^{\alpha}_{\beta\lambda\mu} = 0$$

que reciben el nombre de ecuaciones de campo de orden superior, y que, además de cumplir la condición de ser ecuaciones de campo, son ecuaciones para las componentes del tensor de curvatura, aspecto que no ocurría con las originales ecuaciones de campo, que sólo eran ecuaciones para las componentes del tensor métrico,  $g_{\alpha\beta}$ . La ventaja de estas ecuaciones de orden superior es que se corresponden con las ecuaciones de Maxwell en el vacío, esto es

$$S_{(v\lambda\mu)} \partial_v F_{\lambda\mu} = 0$$

$$\partial_\alpha F^\alpha_\beta = 0$$

Otro problema añadido para la teoría de la radiación gravitacional es que el tensor de curvatura no parece intervenir en las ecuaciones del movimiento, ya que en éstas, que son las ecuaciones de las geodésicas en  $V_4$ , en principio sólo intervienen los potenciales de gravitación y sus derivadas primeras. En cambio, si en vez de considerar sólo una geodésica contemplamos una familia de geodésicas que engendran una superficie, se puede obtener una fórmula para la desviación geodésica que depende del tensor de curvatura, siendo la expresión obtenida por Bel

$$\frac{\nabla^2 v^\alpha}{ds^2} = -R_{\beta\lambda\mu}^\alpha u^\beta u^\mu v^\lambda, \text{ siendo } u^\alpha = \frac{\partial x^\alpha}{\partial s}; v^\alpha = \frac{\partial x^\alpha}{\partial t}; x^\alpha = x^\alpha(s, t)$$

La interpretación de esta ecuación indica que rige el movimiento relativo de una partícula respecto a su vecina, el miembro de la izquierda es la aceleración relativa de ambas partículas y depende del tensor de curvatura. En definitiva, se ha logrado expresar un aspecto del campo gravitatorio en función de dicho tensor de curvatura, que aparece como un campo de aceleraciones relativas. Esta fórmula puede compararse formalmente con la fórmula de Lorentz de la fuerza que actúa sobre una carga  $e$ , es decir  $\frac{d^2 x^\alpha}{ds^2} = e F_\beta^\alpha u^\beta$ , con la salvedad conceptual de que estas últimas ecuaciones son las del movimiento para una carga mientras que, por el contrario, las fórmulas de la desviación geodésica son las ecuaciones del movimiento relativo de dos masas vecinas.

Hemos visto anteriormente que uno de los problemas para construir una teoría de la radiación gravitacional era la dificultad de definir una energía localizable en un punto. Pues bien, el objetivo de Lluís Bel es construir un tensor que pueda corresponder al tensor energía-impulso del campo electromagnético, que es de la forma

$$\tau_{\alpha\beta} = \frac{1}{4} g_{\alpha\beta} F^{\lambda\mu} F_{\lambda\mu} - F_{\alpha\rho} F_\beta{}^\rho.$$

Siguiendo los pasos matemáticos equivalentes en la formulación tensorial del campo electromagnético, y partiendo de las ecuaciones de campo de orden superior, anteriormente descritas, se llega a poder construir un tensor de cuarto orden de la forma

$$T^{\alpha\beta\lambda\mu} = \frac{1}{2} (R^{\alpha\rho, \lambda\sigma} R_{\rho, \sigma}^{\beta\mu} + R^{\alpha\rho, \mu\sigma} R_{\rho, \sigma}^{\beta\lambda} - A g^{\alpha\beta} g^{\lambda\mu}),$$

siendo  $A$  el escalar definido anteriormente  $A = (R, R) = \frac{1}{4} R_{\alpha\beta, \lambda\mu} R^{\alpha\beta, \lambda\mu}$ .

Este tensor recibe el nombre de tensor de super-energía del campo gravitatorio, conocido como tensor de Bel-Robinson, y tiene las siguientes propiedades: es completamente simétrico, tiene traza nula ( $T^\alpha_{\alpha\lambda\mu} = 0$ ), es conservativo en el vacío ( $\nabla_\alpha T^{\alpha\beta\lambda\mu} = 0$ ), su componente temporal respecto a un vector  $u$  es

$W(u) = T_{\alpha\beta\lambda\mu} u^\alpha u^\beta u^\lambda u^\mu = \frac{1}{2} (E_{\alpha\beta} E^{\alpha\beta} + H_{\alpha\beta} H^{\alpha\beta})$ , que se puede demostrar es siempre  $W \geq 0$  y sólo es nulo si el tensor de curvatura es nulo, es decir en ausencia de campo gravitatorio.

Tanto el escalar  $W$  como el tensor  $T^{\alpha\beta\lambda\mu}$  son buenos candidatos para equivaler a las nociones de densidad de energía y tensor de energía-impulso (Bel lo denomina de

impulsión-energía). Pero merecen estos nombres sólo en la medida en que se puede llamar al tensor de curvatura tensor campo gravitatorio, lo que en realidad, el mismo Bel opina que hay que contemplarlo con reservas. Pero “en todo caso lo que sí parece cierto es que el escalar  $W$  es lo más cercano a la noción de energía que se puede obtener respetando la covariancia general de la teoría”.

Igualmente se puede considerar el vector proyección de espacio del tensor de super-energía, o vector flujo de super-energía. Este vector tiene importancia en la definición de un estado de radiación gravitacional.

Para la teoría de la radiación gravitacional hay que contemplar, de las posibles soluciones de las ecuaciones de campo  $R_{\alpha\beta} = 0$ , cuáles y según qué condiciones, describen un estado intrínseco de radiación gravitacional. Para ello hay que recurrir a la clasificación de los tensores conocida como clasificación de Petrov (establecida en 1954 por el matemático ruso Petrov).

Los tensores de rango 4 que poseen las propiedades de simetría establecidas más arriba, se pueden clasificar en cuatro tipos diferentes, según existan uno o más vectores isótropos que cumplan una serie de relaciones entre el tensor y dichos vectores (los vectores isótropos considerados).

Existen tres posibles definiciones de una solución de las ecuaciones de campo que describa una radiación gravitacional, soluciones que vienen dadas en función de las propiedades del tensor de curvatura asociadas a los tipos de tensores según la clasificación de Petrov. Las dos primeras se asocian sólo con un tipo de tensor correspondiente a dicha clasificación. Pero Bel razona que la definición más plausible es la que hace que la radiación gravitacional transporte super-energía, es decir el tensor de curvatura es tal que el vector de flujo (asociado al tensor de super-energía definido anteriormente) es distinto de cero, cualquiera que sea el vector proyección considerado. Además, esta definición es compatible con tres de los cinco tipos de tensores según la clasificación de Petrov, por lo que es la solución más general. En palabras del propio Bel:

Si esta definición es correcta y el fenómeno de la radiación gravitacional es observado algún día nos aparecerá como un fenómeno mucho más rico estructuralmente que el fenómeno de la radiación electromagnética puesto que el primero parece susceptible de presentarse en al menos tres formas distintas.<sup>3</sup>

Las tres formas distintas de la radiación gravitacional se corresponden con los tres tipos de tensores según la clasificación de Petrov. En los tipos de tensores compatibles con el transporte de super-energía figura un vector isótropo al que se puede denominar vector de onda,  $l_{(A)}$  ( $A=1,2$ ) de tal forma que el tensor de super-energía se puede expresar de la forma

$$T_{\alpha\beta\lambda\mu} = 2\sigma^2 l_{\alpha} l_{\beta} l_{\lambda} l_{\mu} ,$$

---

<sup>3</sup> Lluís Bel, "La radiación gravitacional", *Actas de la I reunión de Física Teórica*, Santander, 1965, p 26.

de donde se puede obtener una expresión del vector flujo de la que se deduce que el vector flujo de super-energía y la proyección del espacio del vector  $\mathbf{l}$  son colineales, motivo por el que se puede identificar el vector  $\mathbf{l}$  con el vector de onda y sus trayectorias con los rayos gravitacionales.

Bel demuestra, a su vez, que los rayos gravitacionales son geodésicas isótropas de  $V_4$ , por lo que se establece el principio de propagación rectilínea con velocidad constante. También demuestra que se cumple la ecuación de conservación para la super-energía. Merece la pena transcribir la conclusión del físico español:

Partiendo del punto de vista según el cual el tensor de curvatura es en cierto sentido el verdadero tensor campo gravitatorio hemos conseguido establecer un estrecho paralelismo entre el campo gravitatorio y el campo electromagnético. En particular hemos conseguido establecer una teoría covariante de la radiación gravitacional proponiendo una definición satisfactoria de estado intrínseco de radiación gravitacional y estableciendo su ley de propagación.

Aparte del interés formal o conceptual que estos resultados puedan tener, de momento la principal conclusión que de ellos podemos sacar es quizá que la teoría general es suficientemente rica para contener una descripción posible de los procesos de radiación gravitacional. Ello nos incita a dar más confianza a los resultados de teorías lineales, las cuales muy posiblemente serán las únicas a poder dar resultados susceptibles algún día de verificación experimental.<sup>4</sup>

Una vez vista, en síntesis, la teoría de Bel repasemos la secuencia histórica de sus aportaciones.

Para sus estudios sobre la radiación gravitacional, Bel se basó en los trabajos previos de su director de tesis, Lichnerowicz. Un ejemplo es su trabajo de 1958 sobre la definición de la densidad de energía en radiación gravitacional<sup>5</sup>. Partiendo de una dirección de tiempos y una elección conveniente de tres tensores se puede establecer la densidad de energía escalar asociada. De esta forma se puede definir un estado de radiación total imponiendo al tensor de curvatura unas condiciones más generales que las establecidas por Lichnerowicz. Concluye Bel que las trayectorias de un vector asociado a un estado de radiación total generalizada, definido en un dominio determinado, son las geodésicas de la métrica. En este trabajo define por primera vez los tensores duales, ya citados anteriormente en la síntesis de su teoría.

En este mismo año de 1958 presenta las primeras conclusiones sobre su investigación con el artículo "Sur la radiation gravitationnelle".<sup>6</sup> El objeto es definir un estado de radiación gravitacional, basándose en una supuesta analogía con el electromagnetismo, en la definición de un tensor nuevo  $T_{\alpha\beta,\gamma\mu}$ , un escalar  $V(\mathbf{u})$  y un vector  $\mathbf{P}(\mathbf{u})$ , demostrando que desempeña un papel análogo al del tensor de Maxwell,

<sup>4</sup> Lluís Bel, *Ibidem*, p. 26.

<sup>5</sup> Bel, "Definition d'une densité d'énergie et d'un état de radiation totale generalisée" *Comptes Rendus Acad. Sci. Paris* v 246, 1958, p 3015-3018.

<sup>6</sup> Bel, "Sur la radiation gravitationnelle", *Comptes Rendus Acad. Sci. Paris*, v 247, 1958, p 1094-1906.



y en que el tensor de curvatura  $R_{\alpha\beta,\gamma\mu}$  cumple la condición  $R_{\alpha\beta} = \lambda g_{\alpha\beta}$  ( con  $\lambda$  constante y  $R_{\alpha\beta} = g^{\mu\nu} R_{\alpha\mu,\beta\nu}$ ).

Para el uso de los tensores en su teoría, Bel realizó una adaptación de la conocida clasificación de Petrov sobre los tensores. En concreto publicó dos trabajos específicos sobre este tema, más bien puramente matemáticos, en los que realiza un estudio algebraico de un tipo de tensor de curvatura según la clasificación de Petrov, profundizando sobre la importancia de dicha clasificación para su teoría<sup>7</sup>.

Una de las principales aportaciones de Bel ha sido la adaptación de la clasificación de Petrov para su uso en relatividad general (de hecho algunos autores denominan a esta clasificación con el nombre de “clasificación de Bel-Petrov”, como por ejemplo Lluís Mas). Según Mas, la importancia de este nuevo tipo de clasificación establecido por Bel se puede ver en que se usa para simplificar los cálculos en la obtención de soluciones a las ecuaciones de Einstein.<sup>8</sup> Sobre esta clasificación, inicialmente en tres tipos de tensores, el estándar actualmente usado considera cinco tipos, clasificación que se ha adoptado gracias a Bel.

Estos estudios sobre los tensores, basados en la clasificación de Petrov, le valen para introducir un tensor nuevo que va a ser básico en su teoría de la radiación gravitacional. Actualmente se conoce este tensor como tensor de Bel-Robinson.<sup>9</sup> (en honor de los dos científicos que introdujeron simultáneamente dicha solución). Es un tensor nuevo de cuarto orden que cumple las condiciones de simetría siguientes:

$$T^{\alpha\beta,\lambda\mu} = T^{\beta\alpha,\lambda\mu} = T^{\alpha\beta,\mu\lambda} = T^{\lambda\mu,\alpha\beta}, \text{ donde } R_{\alpha\beta} = \lambda g_{\alpha\beta}.$$

Hoy en día este tensor se usa de forma generalizada en los estudios sobre relatividad general.

En 1959 Bel imparte un seminario, dentro de un curso general de Mecánica analítica y celeste de la Universidad de París, donde expone su teoría de la radiación gravitacional, insistiendo en que lo más razonable para abordar este problema es intentar encontrar analogías con el bien conocido de la radiación electromagnética. Con esta idea se pueden intentar tentativas ya iniciadas por otros autores como Lichnerowicz y Pirani, que consisten en considerar en el tensor de curvatura, en vez del tensor métrico, el elemento adecuado a la descripción de los fenómenos de radiación gravitacional. La exposición es de contenido similar a la síntesis realizada por mí anteriormente.<sup>10</sup> Un resumen de contenido similar, con el mismo título, “La Radiation gravitationnelle”, es el aparecido en 1962 en la revista oficial del *Centre Nationale de Recherches Scientifiques*.<sup>11</sup>

<sup>7</sup> Bel, “Étude algébrique d'un certain type de tenseurs de courbure”, *Comptes Rend .R. Acad. Sci. Paris*, v 247, 1958, p 2096-2099; “Quelques remarques sur la classification de Petrov”, *Comptes Rend .R. Acad. Sci. Paris*, v248, 1959, p 2561-2563.

<sup>8</sup> Mas, Luis, *Soluciones exactas en relatividad general*, editorial Complutense, Madrid, 1983, pp 65-74

<sup>9</sup> Bel, “Introduction d'un tenseur du quatrieme ordre” *Comptes Rend .R. Acad. Sci. Paris*, v248, 1959, p 1297-1300.

<sup>10</sup> Bel, “La radiation gravitationnelle”, *Séminaire Janet. Mécanique analytique et mécanique céleste*, v 2, (1958-1959), nº 12, 1959, p 1-16.

<sup>11</sup> Bel, “La radiation gravitationnelle”, *CNRS*, 1962, p 119-126.

Un aspecto muy novedoso de la teoría de Bel es la introducción del concepto de inducción gravitacional, en 1961 en su primer escrito<sup>12</sup> que publicara de la serie de artículos aparecidos ahora en los *Annales de L'institut Henri Poincaré*, instituto donde ejercía su labor investigadora.

Expone Bel los resultados clásicos del electromagnetismo en el marco de la relatividad especial, usando el tensor métrico del espacio-tiempo de Minkowski con una adecuada elección de unidades para hacer  $c=1$ . Considera los casos sin inducción y con inducción en formalismo cuadridimensional.

Relativas al campo gravitacional aparecen tres constantes fundamentales características del vacío,  $\varepsilon'_0$ ,  $\mu'_0$ ,  $\gamma'_0$ , a las que se les puede asociar una interpretación física. De esta forma se puede sugerir una inducción gravitacional, desarrollando un formalismo análogo al fenómeno de la inducción electromagnética. Por tanto, se puede igualmente contemplar la noción de rayos gravitacionales e identificarlos como característicos de las ecuaciones de Einstein, recurriendo a la definición de un campo gravitacional singular en el sentido restringido de Lichnerowicz o en el más general del propio Bel. Demuestra Bel que los rayos son trayectorias de un campo de vectores isótropos. Al desarrollar las ecuaciones de campo gravitatorio se puede definir un potencial tensor, partiendo de una analogía en gravitación con el tensor electromagnético, y obtener una constante característica del centro de masas ( $\gamma$ ) que define la inducción gravitatoria.

En 1962 Bel presentó otro artículo en *Cahiers de Physique* sobre el problema de la energía en relatividad general y su relación con los estados de radiación.<sup>13</sup> De este trabajo, Senovilla ha destacado recientemente<sup>14</sup> su importancia científica. Como señala Senovilla, tres aspectos marcan la trascendencia de este escrito, y en general de la obra de Bel: la adaptación de la clasificación de Petrov para su uso en relatividad general; el establecimiento de un nuevo tensor, denominado tensor de Bel-Robinson, que he comentado anteriormente se usa actualmente en relatividad general; y la completa unificación de diferentes puntos de vista sobre gravitación, en principio desconectados. Hoy en día, muchos conceptos usados en relatividad tienen su origen en los trabajos de Bel. Entre los logros de Bel está la descomposición, estudio y aplicación de las partes eléctricas y magnéticas del tensor de Riemman en el vacío. Este escrito de Bel también da solución a un importante problema establecido inicialmente por Synge, como es definir la densidad de energía gravitacional positiva si desaparece la curvatura, lo que se consiguió con el tensor de cuatro índices de Bel-Robinson, que Bel acuñó con el nombre de tensor de "super-energía". También logró definir un vector fijo de super-energía como componente de una densidad de super-energía, usado para establecer una definición de estado intrínseco de radiación gravitacional. Además, el tensor de super-energía se puede construir en total

<sup>12</sup> Bel, "Inductions électromagnétique et gravitationnelle", *Annales de l'institut Henri Poincaré*, v 17, nº 1, 1961, p 37-57.

<sup>13</sup> Bel, "Les états de radiation et le problème de l'énergie en relativité générale", *Cahiers de Physique*, v 16, 1962, p 59-80 (reeditado como "Radiation States and the problem of energy in General Relativity", *General Relativity and Gravitation*, v 32, nº 10, 2000, p 2047-2078).

generalidad, es decir no solo para el vacío, en cuyo caso su divergencia no es cero en general. Por último, este escrito contiene un análisis de la estructura de las discontinuidades del campo gravitacional y su relación con el frente de ondas gravitatorio, asociado a su vez con la obtención de las geodésicas del espacio-tiempo. También obtuvo Bel algunas importantes leyes de conservación asociadas a la densidad de super-energía. En definitiva, Bel logró juntar todas las piezas sueltas del campo gravitatorio y su radiación, ofreciendo una imagen completa y consistente de los mismos. Para ello Bel presentó las aportaciones de Matte, Lichnerowicz y Pirani sobre el problema de la radiación gravitacional, para integrarlas posteriormente de forma conjunta, gracias a su nuevo tensor, el de Bel-Robinson, que permite definir un estado de radiación gravitacional.

Por último hay que recordar que, a pesar de que la totalidad de los trabajos de Bel se presentaron en revistas extranjeras especializadas, participó, como hemos visto, en el primer congreso de física teórica realizado en España, en 1965, donde presentó un resumen de sus resultados más relevantes en radiación gravitacional.<sup>15</sup> El seminario impartido por Lluís Bel es muy similar en contenido al de 1959 en la *Faculté des Sciences de Paris* con el título de "La radiation gravitationnelle"<sup>16</sup>

Bel era consciente que en 1965 todavía no se dio ningún hecho experimental que permitiera verificar la radiación gravitacional o detectar las de ondas de gravitación. Aún así, Bel consideraba la radiación gravitacional una teoría trascendental porque se consideraba necesaria para el estudio de la posible cuantificación del campo gravitatorio. Este asunto fue tratado por Alfonso Capella en el mismo escenario de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Santander, lo que voy a analizar en el apartado 4.5.3.

#### 4.5.2. OTRAS CONTRIBUCIONES DE BEL: ESTUDIO DE SOLUCIONES DE LAS ECUACIONES DE CAMPO Y TEORÍA CINÉTICA DE LA COSMOLOGÍA

Fuera ya del problema concreto de la radiación gravitacional, Bel publicó también interesantes artículos sobre otros aspectos de la relatividad, como por ejemplo en 1957, donde, partiendo de la métrica hiperbólica normal (riemanniana), estudió los parámetros de discontinuidad a partir de condiciones de compatibilidad deducidas de las ecuaciones de campo de la relatividad general.<sup>17</sup>

Otra aportación interesante de Bel es su consideración de que la teoría de la gravitación de Einstein, al ser también una teoría del espacio-tiempo, plantea

<sup>14</sup> J.M. Senovilla, "Editor's note: Radiation States and the Problem of Energy in General Relativity", *General Relativity and Gravitation*, vol 32, nº 10, 2000, p 2043-2045. A continuación incluye también una breve biografía de Bel, p 2045-2046.

<sup>15</sup> Lluís Bel, "La radiación gravitacional", *Actas de la I reunión de Física teórica*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Santander, 1965.

<sup>16</sup> Bel, "La radiation gravitationnelle", *Seminaire Janet, Mécanique Analytique et mécanique Céleste, Année 1958/59*, 1959, [http://www.numdam.org/item?id=SJ\\_1958-1959\\_2\\_A12\\_0](http://www.numdam.org/item?id=SJ_1958-1959_2_A12_0).

<sup>17</sup> Bel, "Sur les discontinuités des dérivées secondes des potentiels de gravitation", *Comptes Rendus Acad. Sci. Paris* 245, 1957, p 2482-2485.

problemas de interpretación para todas las posibles soluciones de las ecuaciones de campo. Este estudio lo realizó conjuntamente con otro físico francés, Escard, para lo que analizaron los casos concretos de las métricas de espacio cociente y conforme.<sup>18</sup>

También en colaboración estudió Bel el problema de ligadura de dos métricas dadas, que se puede concretar en el estudio de problemas infinitesimales en simetría esférica.<sup>19</sup> En este trabajo de 1967 se considera la adaptación, basándose en los trabajos anteriores de Lichnerowicz, de dos métricas riemannianas de tipo hiperbólico normal. La dificultad está en el grado de arbitrariedad asociado a las soluciones. Se aplica para las soluciones de las ecuaciones de Einstein en el caso de esferas simétricas. El estudio de los autores permite decidir si dos métricas son compatibles, es decir si se pueden adaptar. Se desarrolla matemáticamente el campo gravitacional sin inducción en relatividad general pero con un nuevo formalismo, basándose en los resultados de Lichnerowicz, en el que los autores establecen las condiciones para que dos métricas puedan presentar ligadura así como las condiciones de ligadura para referenciales y lo aplican al caso particular de la esfera simétrica correspondiente a un tensor energía-impulso normal y localmente ligado con la solución de Schwarzschild.

Ya en solitario, Bel estudió las ecuaciones de movimiento y trayectorias de una partícula sumida en un campo escalar estático, tanto de corto como de largo alcance, y en una esfera simétrica en relatividad restringida<sup>20</sup>. Analizó algunas implicaciones del acoplamiento partícula-campo escalar, considerando las ecuaciones de movimiento con el lagrangiano en el espacio-tiempo de Minkowski, el caso estático de simetría esférica y las ecuaciones de las trayectorias donde se define un potencial aparente y un potencial efectivo, en consonancia con la correspondiente elección del lagrangiano. Estudiando el potencial efectivo en los casos de potencial de largo alcance y de corto alcance, se pueden establecer los supuestos en los que se obtiene una trayectoria circular, elíptica o hiperbólica.

Bel planteó cuáles serían las predicciones de una teoría de campo de gravitación descrita por un campo escalar. Se puede realizar la aproximación clásica de la teoría newtoniana, que aunque no daría cuenta del retardo del perihelio y de la curvatura de los rayos luminosos, sí lo haría, considerando la modificación de la masa aparente, del corrimiento de las rayas espectrales.

También en colaboración, esta vez con Léauté, estudió Bel la configuración de la materia en una esfera simétrica en equilibrio bajo la acción, por un lado de un campo gravitacional, y por otro de un campo escalar repulsivo en corto alcance.<sup>21</sup> Resuelve la ecuación resultante con una aproximación de segundo orden y discute la existencia de una masa límite. Partiendo de las ecuaciones de campo de Einstein y de Klein-Gordon, analiza el caso estático de simetría esférica y plantea una nueva formulación

<sup>18</sup> Bel y Escard, J, "Problèmes d'interprétation des  $ds^2$  stationnaires, rigides ou conformément rigides", *Rend. Accad. Naz. d. Lincei*, ser VIII, v XLI, fasc 6, 1966, p 476-486.

<sup>19</sup> Bel, Hamoui, Adnan ; Les conditions de raccordement en relativité générale. *Annales de l'institut Henri Poincaré, section A Physique théorique*, 7 no. 3, 1967, p. 229-244.

<sup>20</sup> Bel, "Le champ scalaire en relativité restreinte", *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, 8 no. 2 (1968), p. 205-216.

<sup>21</sup> Bel, L.; Léauté, B.; Champ scalaire et configurations d'équilibre de grosses masses. *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, 10, n° 3, 1969, p. 317-348, (Versión disponible en la siguiente dirección de Internet ([http://numdam.org/item?id=AIHPA\\_1969\\_10\\_3\\_317\\_0](http://numdam.org/item?id=AIHPA_1969_10_3_317_0))).

de las ecuaciones de campo partiendo de la expresión del elemento de línea en coordenadas polares, obteniendo los sistemas de ecuaciones en los supuestos del interior de la esfera y en el exterior. Para ello considera la solución aproximada de las ecuaciones, tanto de primer orden como de segundo orden. Para el estudio de una masa extensa en segunda aproximación, en el que obtiene un valor máximo, parte de la solución de Schwarzschild en coordenadas armónicas. Del análisis concluye la posibilidad de aplicarlo al estudio de la presión y la ecuación de estado efectiva, obteniendo una ecuación de compresibilidad.

Bel también trabajó sobre aspectos más específicamente matemáticos, en concreto sobre temas de geometría diferencial y teoría de operadores en formas tensoriales (generalizando los operadores de diferenciación exterior y diferenciación covariante)<sup>22</sup>. En este último caso con posibilidades de aplicación en cuestiones de cuantificación del campo gravitatorio.

En otro trabajo de marcado carácter matemático, Bel estudió en profundidad las singularidades en la solución de Schwarzschild a las ecuaciones de campo, concluyendo que dichas singularidades son reales y localizadas.<sup>23</sup>

También se acercó Bel a cuestiones cosmológicas, publicando en 1969 un trabajo en la prestigiosa *The Astrophysical Journal*, donde considera las soluciones uniformes por las cuales las galaxias o cúmulos de galaxias se tratan como “partículas”, en lo que se conoce como teoría cinética de la cosmología.<sup>24</sup> Justifica una elección particular de la función de distribución, acorde con dicha teoría cinética, demostrando que la desviación estándar al rojo es una función creciente de la distancia entre la fuente y el observador. Este artículo tendrá más tarde una influencia determinante en la posterior dirección de trabajos en España sobre teoría cinética de la cosmología y termodinámica relativista.

Evidentemente Bel siguió trabajando en torno a diversos temas de la relatividad, que veremos someramente en el siguiente capítulo, con Bel ya en España durante los años 1971 a 1973, lo que implicaría una productiva colaboración con otros físicos españoles, como Enrique Álvarez o Jesús Martín, entre otros.

#### 4.5.3. LOS TRABAJOS DE ALFONSO CAPELLA SOBRE CUANTIFICACIÓN DEL CAMPO GRAVITATORIO Y TEORÍAS LINEALES DE LA GRAVITACIÓN

Alfonso Capella, físico español nacido en 1936 y licenciado en Físicas por la Universidad de Barcelona, realizó el doctorado en la Universidad de París, finalizándolo en 1963, aunque al año siguiente también se doctora en la Universidad de Barcelona. En ambas tesis doctorales trata sobre partículas elementales, campo en el que se convertiría en un destacado especialista internacional. Igualmente trabaja en

<sup>22</sup> L. Bel, “Étude de certains operateurs definis sur les foemes tensorielles”, *Annali di Matematica Pura ed Applicata*, v 62, n1 1, 1963, p 171-192.

<sup>23</sup> “Schwarzschild Singularity”, *Journal of Mathematical Physics*, vol 10, nº 8, Agosto 1969, p 1501-1503.

<sup>24</sup> Bel, “Kinetic Theory of Cosmology”, *The Astrophysical Journal*, vol 155, Enero 1969, p 83 a 87.

el ámbito de las interacciones nucleares en niveles de alta energía. Perteneció al CNRS de París, siendo colaborador de Lluís Bel en temas de relatividad general.

Alfonso Capella presentó dos comunicaciones en el congreso citado de Santander, una sobre "Teorías minkowskianas lineales de la gravitación" y otra sobre "Cuantificación del campo gravitatorio".<sup>25</sup>

Respecto al primero, conviene recordar que, aunque la relatividad general de Einstein es la teoría gravitacional universalmente aceptada, ha habido otros intentos de formulación de teorías alternativas capaces de dar cuenta de los tres hechos experimentales conocidos en los que se apoya empíricamente la teoría de Einstein. Un tipo de estos intentos es el basado en la variedad minkowskiana de la relatividad restringida, en la que las ecuaciones de campo son lineales. Recordemos que uno de los problemas de la teoría de Einstein para encontrar soluciones particulares es el carácter no lineal de sus ecuaciones de campo.<sup>26</sup>

Una de las primeras teorías alternativas fue la de Birkhoff en 1944, en la que las nuevas ecuaciones de campo son una generalización relativista de la ecuación de Poisson, en las que se consideran un sistema de coordenadas rectilíneas y rectangulares. Las ecuaciones de campo de Birkhoff son

$$-\frac{1}{2} \square (h_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} g_{\alpha\beta} h) = \chi T_{\alpha\beta}, \text{ donde } \square \text{ es el operador de d'Alambert } (g^{\alpha\beta} \partial_\alpha \partial_\beta),$$

$$\chi = 4\pi G; h = g^{\alpha\beta} h_{\alpha\beta},$$

$T_{\alpha\beta} = \rho u_\alpha u_\beta$ , con  $\rho$  la densidad de masa de la distribución material que crea el campo gravitatorio.

Las ecuaciones de movimiento en la teoría de Birkhoff se postulan por analogía con las del electromagnetismo, obteniéndose la fórmula de la trayectoria elíptica de los planetas con un avance del perihelio, fórmula que da la misma expresión que para la relatividad general de Einstein. También para  $v \ll c$  se reduce a la trayectoria newtoniana.

Para el cálculo de la desviación de los rayos luminosos, sigue Capella un método establecido por Moshinsky en 1950, consistente en obtener, a partir del lagrangiano del sistema, las ecuaciones de Maxwell modificadas por la presencia de un campo gravitatorio. El resultado son las ecuaciones de Maxwell pero con las constantes electromagnéticas dependientes de los potenciales gravitatorios, lo que corresponde, a su vez, a un medio con un índice de refracción dependiente del mismo campo gravitatorio. De esta forma se consigue la ecuación de la trayectoria de los rayos luminosos que resulta igual que en la teoría de Einstein (recordemos que ya en 1919, Plans obtuvo un resultado igual mediante un procedimiento similar, aunque sin partir del cálculo tensorial, como era considerar la hipótesis de un medio con índice de refracción variable).

<sup>25</sup> Alfonso Capella, "Teorías minkowskianas lineales de la gravitación", "Cuantificación del campo gravitatorio" *Actas de la I reunión de Física teórica*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Santander, 1965.

<sup>26</sup> Un sistema no lineal es aquél en el que sus ecuaciones de movimiento son no lineales, es decir que no cumplen con el principio de superposición, principio que es la base de una función lineal, donde  $f(x+y) = f(x) + f(y)$ ;  $f(kx) = k f(x)$ .

Sobre el tercer efecto, el corrimiento al rojo del espectro, partiendo de la ecuación de Dirac, en la teoría de Birkhoff se calculan los niveles de energía del hidrógeno (considerando la modificación de la constante dieléctrica), obteniéndose también la misma expresión que la teoría de Einstein para los niveles de energía en presencia y en ausencia de campo gravitatorio.

Aun con dar respuesta a los tres efectos clásicos de la relatividad, la teoría de Birkhoff fue duramente criticada por Weyl, quien opinaba que las ecuaciones de movimiento son postuladas "ad hoc" y no deducidas por un principio variacional, además, según Weyl, no se satisfacía la ley de conservación de la masa. Por este motivo, posteriormente a la de Birkhoff, se han propuesto varias teorías minkowskianas de la gravitación que intentaban salvar estas dificultades indicadas por Weyl, aunque no consiguieron satisfacer la ley de conservación de la masa. Una de estas teorías fue propuesta por el propio Alfonso Capella en 1962, donde se postula que las ecuaciones del movimiento vienen dadas por la ley de conservación del tensor energía-impulso total del sistema, pero con la limitación importante de que las ecuaciones del movimiento no coinciden con las ecuaciones de Lagrange que resultan del lagrangiano del sistema<sup>27</sup>. Aunque Capella intentó completar esta teoría en 1964,<sup>28</sup> no fue hasta el año siguiente cuando presentó ya un trabajo completo<sup>29</sup>, en el que se satisfacían las leyes de conservación de la energía y de la masa, dando además cuenta de los tres efectos clásicos de la relatividad general usando un parámetro ajustable.

Las ecuaciones de campo propuestas por Capella, que coinciden con las establecidas a su vez por Tonnelat y Lederer conjuntamente en 1964, son de la forma

$$\square (h_{\alpha\beta} + a g_{\alpha\beta}h) = \chi T_{\alpha\beta}^{(p)},$$

donde  $a$  es un parámetro real y  $\chi$  una constante de acoplo. Capella deduce las ecuaciones del movimiento demostrando que se mantiene la conservación de la materia. Dicho principio de conservación se describe por medio de un esquema discreto en la teoría de Capella, a diferencia de la de Tonnelat y Lederer. Otra diferencia entre las teorías de Capella y Tonnelat-Lederer es que en esta última, en vez de cumplirse una ley de conservación de la masa como tal, se tiene una conservación de la masa modificada por el campo.

Para el cálculo de los tres efectos clásicos, Capella sigue el mismo procedimiento que el desarrollado por Birkhoff, obteniendo unas fórmulas en las que, ajustando los parámetros  $a$  y  $\chi$ , se consiguen los mismos resultados que en relatividad general para el desplazamiento del perihelio de mercurio y el corrimiento de las rayas espectrales. Para la desviación de la luz, en cambio, el resultado obtenido es un 12% inferior al previsto por Einstein, aunque Capella anuncia que es coincidente con las últimas

<sup>27</sup> A. Capella, "Sur le tenseur impulsion-energie du champ de gravitation", *Cahiers de Physique* v 16, nº 144, 1962, p 330-344.

<sup>28</sup> A. Capella, *Cahiers de Physique* v 17, nº 158, 1964, p 446.

<sup>29</sup> A. Capella, *Comptes Rendus Ac. Sciences Paris*, v 260, 1965, p 1341. Este trabajo apareció también en una versión más detallada con el título "Flat theory of gravitation", *Il Nuovo Cimento*, v 42, nº 2, 1966 que está también disponible en los archivos del CERN con la referencia 65/1673/5-TH.627 10 November 1965 (<http://doc.cern.ch/archive/electronic/other/preprints/CM-P/CM-P00057298.pdf>).

observaciones de 1952 que corrigen el valor medio de las realizadas entre 1919 y 1952<sup>30</sup>.

Hay que notar que según la gravitación newtoniana la luz se debe curvar al paso del sol 0,875 sg de arco, y con la relatividad general es 1,75 sg de arco. Los primeros 0.875 son por el principio de equivalencia y los otros por el grado de curvatura según la solución de las ecuaciones de campo einstenianas. Aparte de la expedición de 1919, hubo otros eclipses con pruebas de curvatura, en 1922, 1929, 1936, 1947, 1952 (dando valores entre 0,75 y 1,5 veces la predicción relativista). En 1973 se repitió otra expedición en un eclipse con tecnología más avanzada (control y análisis computerizado, emulsiones fotográficas de muy alta calidad y precisión, etc). El resultado fue  $0,95 \pm 0,11$  veces el valor. Esta fue la última de este tipo de pruebas, ya que se sustituyeron por los radiotelescopios y mediciones de cuasars, mucho más precisas. Aunque la radioastronomía empezó en 1931, se desarrolló a partir de los años 60, y la relatividad general predice la misma desviación para ondas de radio, es decir independientemente de la longitud de onda. Para poder medir con precisión este efecto se debe medir la dirección de la fuente emisora, lo que se puede hacer con el radiointerferómetro (se basa en la interferencia constructiva o destructiva de dos señales de la misma fuente pero recibidas en diferentes lugares, por dos radiotelescopios). La resolución de estos radiotelescopios puede ser de una diezmilésima de segundo de arco. El problema es que, para esta prueba, se necesita una fuente muy puntual, lo que se resolvió con el descubrimiento de los cuásares, a gran distancia y con emisiones fuertes, lo que permite una focalización muy exacta. Por la circunstancia de que existen dos cuásares concretos cuya señal pasa muy cerca del sol una vez al año, se pueden hacer medidas anuales (como en los eclipses). La primera medida de este tipo se hizo en 1969 con una incertidumbre del 10%, lo que se considera mucho. Hasta 1975 se hicieron mediciones (con errores de un 8% a 1%) obteniéndose resultados con casi todas las mediciones acordes con la predicción de Einstein (sólo una dio resultado contrario). Se perdió el interés en este tipo de medidas porque se consideraba que afectaba a la precisión la influencia de la corona solar, que implica desvío de los rayos por refracción, aunque este desvío sí depende de la frecuencia de la emisión (por ejemplo para la luz visible no afecta por lo que en los eclipses no influía). Se consiguió hacer mediciones de cuasars que estaban algo alejados de la trayectoria solar y se confirmaron los datos con precisión del 1%.<sup>(31)</sup>

Sobre el cuarto efecto, el conocido como la prueba de Shapiro propuesta en 1964, el valor previsto por la teoría de Capella da un resultado superior al 4% del de la relatividad general, lo que estaría dentro del margen del error experimental, mientras que en la teoría de Tonnelat-Lederer es inferior al 10% de la de Einstein. El mismo Capella reconoce que una limitación de su teoría es que contiene un parámetro arbitrario que no aparece en la teoría de Einstein, aun así no se debiera descartar porque conduce a las mismas fórmulas que la teoría de Einstein.

<sup>30</sup> A. Capella, "Teorías minkowskianas lineales de la gravitación", *Actas de la I reunión de física teórica*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, 1965, p 10.

<sup>31</sup> Ver Will, *¿Tenía razón Einstein?*, Gedisa, 1989.



Igual que para el caso de la desviación de la luz, considero conveniente un receso para explicar la prueba de Shapiro y su confirmación experimental. Dicha prueba establecía la posibilidad de medir el retardo temporal de la luz por mediciones del eco de radar. Por ejemplo, midiendo el tiempo de la señal de radar de ida y vuelta a un planeta se podía determinar la distancia de la Tierra a dicho planeta con una precisión nunca lograda. También por eco de radar se podía calcular las velocidades de rotación de los astros. En definitiva, el espectacular incremento en el conocimiento de los movimientos planetarios hizo posible mejorar los tests de las leyes básicas de la física que gobiernan nuestro sistema solar.

Uno de los temas polémicos era si podía variar la velocidad de la luz al curvarse (algo similar a la refracción en un medio como un cristal, donde sí cambia). El propio Einstein consideró esta posibilidad cuando en 1911 calculó la desviación de la luz, dando un resultado de 0,875, igual que en el caso newtoniano, pero luego en 1915 no consideró esta posibilidad con las ecuaciones definitivas en las que daba el resultado correcto, el doble.

En cambio, Shapiro encontró que en las ecuaciones de campo de Einstein sí había soluciones en las que la velocidad efectiva de la luz variaba. Aplicando esta posibilidad al cálculo del viaje de ida y vuelta de una señal de radar, determinó que debía tardar más que con la consideración de  $c$  constante. El retraso temporal dependía de cuán cerca del Sol pasara la señal, es decir en el caso de conjunción superior, cuando el objeto se halla en el punto más alejado de la Tierra (según las órbitas), por lo que la señal debe pasar cerca del Sol. Por ejemplo, una señal de radar de la Tierra a Marte en conjunción superior debe sufrir un retraso de 250 microsegundos, en un tiempo teórico de 42 minutos (aunque es pequeña, esta variación temporal implica una variación en la posición del blanco de 38 Km).

En realidad no podemos saber si la luz o bien se frena, o bien recorre un camino más largo, es una cuestión de semántica, de representación, es decir matemáticamente la luz parece tener una velocidad variable, lo que realmente se puede medir es el retraso temporal, que puede ser en parte por el principio de equivalencia y en parte a causa de la curvatura del espacio. Por el principio de equivalencia se obtiene que el retardo del viaje de ida y vuelta de la Tierra a Marte en conjunción superior es 250  $\mu\text{s}$  y por la curvatura del espacio se suma otro factor igual de 250  $\mu\text{s}$  (esto es casualidad). Otras teorías de gravitación como la de Brans-Dicke darían el primer factor igual, pero el segundo no.

En 1961 Shapiro empezó a realizar cálculos y observaciones, pero los telescopios no tenían capacidad de mediciones en conjunción superior. En 1964, con la construcción de una potente antena de radar en Massachusetts, se podía calcular el caso de la conjunción superior entre Tierra y Mercurio. Gracias a las medidas realizadas Shapiro publicó su famoso artículo de 1964 en *Physical Review Letters*, estableciendo el denominado “cuarto test de la relatividad general”.

Los cálculos asociados son complicados, porque al revés que en el caso de medir la curvatura de una luz lejana, donde se compara la posición del objeto cuando no hay eclipse con la posición cuando sí lo hay, aquí el planeta se mueve. Aun con todo, el cálculo de resultados, ayudado por programas informáticos, concordó con la

relatividad general. Desde 1966 a 1967 se hicieron multitud de pruebas en casos de conjunción superior de Mercurio y Venus, obteniéndose de nuevo concordancia con la predicción teórica, aunque con un 20% de error. Entre 1967 y 1970 las mismas pruebas también concordaron, con un error del 5%. También hubo sondas a Marte desde 1965 a 1971, las Mariner, y se pensó en usar esas sondas para medir el retraso temporal, lo que se hizo en 1970 y dio otra vez resultados concordantes con un error del 3%, además se comprobó que los resultados anteriores con radiotelescopios eran menos fiables por el problema de que Marte presentaba cráteres, valles y montañas que aumentaban el error, pero esto no ocurría con las sondas. Pero además, en este caso se pensó que podría haber errores por la influencia de la presión de radiación del sol, la corona solar y con circunstancias fortuitas en la superficie del planeta que podrían perturbar las medidas. Esto se solucionó con sondas ancladas en el planeta, lo que se hizo por primera vez en 1971 y posteriormente con las sondas Viking en 1976. Se hicieron medidas hasta Septiembre de 1977, obteniendo también concordancia con la relatividad einsteniana con una precisión del 0,1%. En definitiva, el test del retraso temporal de Shapiro se considera el más preciso de la relatividad general.<sup>32</sup>

Alfonso Capella realizó su tesis doctoral sobre la trascendental cuestión de la cuantificación del campo gravitatorio y se tituló *Tenseur impulsion-energie et quantification du champ de gravitation* (Universidad de París, 1963).<sup>33</sup> Según Capella, parece plausible plantear la cuantificación del campo gravitatorio, lo que resolvería ciertas dificultades de la teoría cuántica de campos, empezando por cuantificar la métrica del espacio-tiempo, aunque “ninguna evidencia matemática permite todavía apoyar o rechazar dicha opinión”. Capella analizó los diferentes intentos de cuantificación de la teoría de Einstein, que son de dos tipos: el primero el de la cuantificación de las teorías de aproximación lineal de la relatividad general (teorías minkowskianas de la gravitación, que hemos visto anteriormente); el segundo el de la cuantificación de la propia teoría de la relatividad general de Einstein.

El primer tipo también se denomina “cuantificación de teorías de espín 2 en el espacio-tiempo de Minkowski”, en las que un campo descrito por un tensor simétrico  $h_{\alpha\beta}$  se corresponde en teoría cuántica con una mezcla de partículas de espín 2 y 0. Para cuantificar el campo hay que usar la transformada de Fourier de dicho tensor y sustituir los componentes del tensor por operadores hermíticos en un espacio de Hilbert.

Las 10 componentes del tensor simétrico de segundo orden que describe el campo representan los 10 tipos de gravitones posibles (recordemos que los gravitones, a semejanza con los fotones, se consideran las partículas que interactúan en el campo gravitatorio). Del mismo modo que en electromagnetismo la covariancia Lorentz

<sup>32</sup> Ver Will, *¿Tenía razón Einstein?*, Gedisa, 1989.

<sup>33</sup> Otros trabajos de Capella relacionados con este tema son los siguientes: *Comptes rendus Ac. Sc Paris*, t 252, 1961, p 240; “Sur la quantification du champ de gravitaton”, *Cahiers de Physique*, v 16, n° 144, 1962, p 330-344; “Sur la quantification du champ électomagnétique libre en relativité restreinte”, *comptes Rendus Acad. Sciences Paris*, v 251, 1960, p 636-638; “Impulsion-energie et spin du champ de gravitation, en théorie quantique, à l'approximation linéaire” *Seminaire Janet, Mécanique analytique et mécanique celeste*, v 6 (1962-1963), p 1-9 (versión disponible en Internet [http://www.numdam.org/item?id=SJ\\_1962-1963\\_6\\_A4\\_0](http://www.numdam.org/item?id=SJ_1962-1963_6_A4_0)).

permite eliminar dos tipos de fotones (las partículas que interactúan con el campo electromagnético), las condiciones impuestas a las ecuaciones de campo, basadas también en el principio de covariancia, permiten eliminar siete tipos de gravitones, quedándonos con tres tipos de gravitones reales, “dos de los cuales corresponden a los dos estados de polarización de toda partícula no escalar de masa nula y la tercera a la partícula escalar”<sup>34</sup>. De forma similar a las herramientas matemáticas usadas en mecánica cuántica, Capella calcula las relaciones de conmutación para las componentes del tensor métrico, obteniéndose unos operadores de creación y otros de destrucción e introduciendo, de forma análoga a lo usado en electrodinámica cuántica, una métrica indefinida. Calcula igualmente el hamiltoniano del sistema y, utilizando la teoría de perturbaciones de la electrodinámica cuántica, se obtienen unas soluciones que se corresponden con los gravitones que definen la interacción gravitatoria.

Capella reconoce que esta cuantificación del campo gravitatorio basada en las teorías lineales es incompleta y se requiere una renormalización de la teoría, según el desarrollo protagonizado por Feynman para la electrodinámica cuántica.

El segundo tipo de teorías de cuantificación del campo gravitatorio se corresponde con la teoría de Einstein, donde hay dos formas de aproximarse al problema, mediante el formalismo hamiltoniano y mediante el formalismo lagrangiano.

En el primero, el problema es poder escribir la integral de acción del campo gravitatorio en forma canónica. Recordemos que, para un sistema con un número finito de grados de libertad, la integral de acción

$$I = \int L dt = \int \left[ \sum p_i \frac{dq^i}{dt} - H(p_i, q^i) \right] dt$$

se dice que está en forma canónica si todas las variables de  $H$  aparecen también en la parte cinética, esto es  $p_i \frac{dq^i}{dt}$ .

El problema surge porque, debido a la covariancia de la teoría de Einstein y a las ecuaciones de ligadura asociadas, la acción no se presenta de la forma expresada en la ecuación anterior. Por lo tanto, hay que encontrar un sistema de coordenadas y unas variables libres de ligadura que permitan expresar la acción en forma canónica, lo que consiguieron en 1963 Arnowitt, Deser y Misner. Si en la expresión de la acción en forma canónica se introducen convenientemente los conmutadores asociados a la cuantificación del campo, compatibles con el principio de correspondencia, se habrá resuelto el problema, aunque la necesaria coherencia de dicha cuantificación, nos informa Capella, no ha sido demostrada todavía, ya que además:

Las dificultades principales provienen del hecho que una cuantificación como la que hemos esbozado no es única. Se podría haber escogido otro sistema de coordenadas y otras variables obtenidas de las primeras por transformación canónica. La correspondencia entre los resultados

---

<sup>34</sup> A. Capella, “Cuantificación del campo gravitatorio” *Actas de la I reunión de Física teórica*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, 1965, p 3

obtenidos en ambos casos puede probarse para la teoría clásica pero no para la teoría cuántica. No puede pues probarse la covariancia de Lorentz de la teoría cuántica. Tampoco se sabe si existe un orden de los operadores (no conmutativos) del Hamiltoniano tal que las ecuaciones de Heisenberg  $i\partial_0 h^{TT} = (h^{TT}, H)$  coincidan con las de Einstein.<sup>35</sup>

En las relaciones de conmutación para el tensor métrico aparecen los denominados propagadores de Jordan-Pauli. Como estos conmutadores se escriben en función de los propagadores correspondientes, hay que generalizar dichos propagadores al caso de una variedad riemanniana en cuatro dimensiones de curvatura no nula. La teoría matemática asociada a esta generalización fue desarrollada por Lichnerowicz y De Witt en 1960, que Capella expone de forma sintética. Se pueden utilizar estos propagadores para construir relaciones de conmutación para campos de espín cualquiera sobre una variedad riemanniana. En concreto, las que interesan son las relaciones de conmutación para el campo gravitatorio, aunque esta aproximación tiene serias dificultades por el carácter no lineal de las ecuaciones de campo einstenianas. Se obtienen así las relaciones de conmutación para los potenciales gravitatorios, buscando la compatibilidad de dichas relaciones con las ecuaciones de campo de Einstein para el vacío. Sin embargo, esta compatibilidad sólo se consigue, como demuestra Capella, en el límite de grandes números cuánticos, por lo que en realidad es una solución por medio de magnitudes clásicas, lo que no puede ser estrictamente válido. En definitiva, esta cuantificación del campo gravitatorio recibe el nombre de aproximación semi-clásica. El tratamiento matemático de esta aproximación lo desarrolló también Lichnerowicz, e introdujo una nueva hipótesis, en la que supone que la métrica es macroscópica y realiza los cálculos cuantificando las fluctuaciones de la misma respecto a sus valores medios. Dichas fluctuaciones se pueden describir mediante variaciones de la métrica y tratarse como variaciones en el sentido del cálculo variacional clásico.

Capella, en su tesis doctoral ya citada<sup>36</sup>, obtuvo los resultados correspondientes utilizando los dos puntos de vista, el de la aproximación semi-clásica y el de las variaciones, y demostrando que son estrictamente equivalentes.

#### 4.5.4. LLUIS MAS: EL PROBLEMA DE LOS N CUERPOS EN RELATIVIDAD GENERAL Y LA MÉTRICA DE KERR

Otro de los protagonistas del grupo de físicos becados en Francia es Lluís Mas. Desde principios de los años 60 se aproximó, en el marco de la relatividad general, a un problema clásico de mecánica celeste, como es el de los dos y tres cuerpos.<sup>37</sup>

<sup>35</sup> A. Capella, "Cuantificación del campo gravitatorio" *Actas de la I reunión de Física teórica*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, 1965, p 8.

<sup>36</sup> A. Capella, *Tenseur impulsion-energie et quantification du champ de gravitation*, Tesis doctoral, Universidad de París, 1963.

<sup>37</sup> L. Mas, "Application de la méthode de variation des constantes au problème des deux corps", *C. R. Acad. Sc. Paris*, v. 255, 1962, p. 2376-2378.

Aplicando el método de variación de constantes (usado en resolución de ecuaciones diferenciales y que se suele aplicar en problemas de mecánica celeste), a partir de resultados de Levi-Civita, obtiene resultados sobre la fórmula del retraso del perihelio de Mercurio. Lluís Mas parte del lagrangiano del movimiento relativo de un cuerpo y deduce el equivalente en el formalismo hamiltoniano, obteniendo la expresión

$$\delta\tau = -\frac{\pi}{na(1-e^2)} \frac{3fm}{c^2} \left( 6 - \frac{m_0 m_1 (2-e)}{m^2} \right)$$

En otro trabajo posterior obtuvo el mismo resultado por otros procedimientos,<sup>38</sup> estudiando el movimiento relativo de un cuerpo respecto de una masa pequeña bajo la acción de un cuerpo central, como caso particular del método variacional de Schwarzschild. Partiendo de las ecuaciones variacionales de la densidad de masa y presión, se puede aplicar la métrica de Schwarzschild en coordenadas polares. Si se considera la aproximación newtoniana utilizando sólo el primer término, se consigue el resultado clásico del problema de dos cuerpos en mecánica newtoniana. En segunda aproximación, hay que tener en cuenta la segunda variación de la métrica de Schwarzschild, obteniendo las ecuaciones de movimiento que incluyen la solución de Robertson para la fórmula de precesión del perihelio.

Lluís Mas extendió estos dos trabajos anteriores, obteniendo ya un tratado completo en 1967 en el que se encuentran soluciones genéricas en las que, como caso particular, está incluido lo conseguido en los trabajos previos.<sup>39</sup> Como tratamiento más general, se debe usar la formulación canónica del formalismo hamiltoniano en relatividad general para las ecuaciones de movimiento correspondientes a los dos y tres cuerpos. En concreto, para el de los dos cuerpos, calculando el lagrangiano y aplicando el método de variación de constantes, obtiene la expresión del avance o retraso del perihelio, según los casos. El estudio canónico de las ecuaciones de movimiento mediante el método de variación de constantes permite un cálculo general de las perturbaciones. Los nuevos términos obtenidos se introducen en las ecuaciones de movimiento en relatividad general.

Para el caso de los dos cuerpos, Lluís Mas desarrolla en detalle los cálculos en el supuesto de simetría esférica. Para el de los tres cuerpos se puede obtener el hamiltoniano correspondiente. Como posible aplicación está el análisis de la interacción entre el Sol, Júpiter y Saturno con las correcciones oportunas.

En 1969 y 1970 publicó dos artículos sobre una métrica establecida por Kerr<sup>40</sup> que permitía, con el desarrollo concreto estudiado por Lluís Mas, soluciones de las

<sup>38</sup> L. Mas, "Étude du problème des deux corps par variation de la métrique de Schwarzschild". *C. R. Acad. Sc. Paris*, v. 262, 1966, p. 266.

<sup>39</sup> Lluís Mas, "Sur le problème du mouvement des deux ou des trois corps en relativité générale". *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, 7 no. 1 (1967), p. 1-76 (versión disponible en [http://numdam.org/item?id=AIPHA\\_1965\\_2\\_2\\_87\\_0](http://numdam.org/item?id=AIPHA_1965_2_2_87_0)).

<sup>40</sup> L. Mas, "Étude des espaces-temps vides qui admettent une métrique du type de Kerr", *C. R. Acad. Sc. Paris*, v 268, p 441, 1969.

ecuaciones de campo einstenianas en un campo magnético.<sup>41</sup> Estos dos trabajos fueron preparatorios para su tesis doctoral presentada en 1970 por la Universidad de Barcelona.<sup>42</sup> Esta tesis fue dirigida por André Lichnerowicz, siendo el presidente del tribunal Juan J. de Orus Navarro, como vocales estaban Alberto Galindo, Pedro Pascual de Sans, Gonzalo Madurga Lacalle y como ponente Antonio Fernández-Rañada.

El objeto de sus tesis era encontrar una nueva solución de las ecuaciones de campo, basada en una nueva métrica establecida por Kerr, y que tuviera posibilidad de aplicación en cuanto a interpretación física. La primera solución interesante de las ecuaciones de campo de Einstein fue la denominada métrica de Schwarzschild, con la que se obtiene el tensor métrico en el exterior de un cuerpo central con simetría esférica. Posteriormente, se encontraron soluciones interiores que tendían a la métrica de Schwarzschild en el exterior. Aunque esta solución tiene un interés evidente en cuanto a interpretación física (ya que explica los tres fenómenos relativistas clásicos) se han ensayado otros dos modelos de simplificación para resolver las ecuaciones de Einstein: el primero basado en simetría cilíndrica o axial, del que se desconoce su posible interpretación física, y el segundo basado en aproximaciones sucesivas. Este segundo modelo fue iniciado por el propio Einstein, junto con Infeld y Hoffman, y más tarde por Papapetrou y Fock, que lo lograron aplicar a casos más generales.

En 1963, Kerr logró encontrar una solución exacta exterior a un cuerpo central en rotación y con simetría axial. Esta solución se recibió con entusiasmo porque su métrica, con relación a la de Schwarzschild, parecía tener grandes posibilidades de éxito en cuanto a aplicación en los recientemente descubiertos cuásares, aunque, por la complejidad en la obtención de datos experimentales de los cuásares, no se logró los resultados esperados de dicha aplicación.

La de Kerr es un tipo de métrica que admite la descomposición  $g_{\alpha\beta} = \eta_{\alpha\beta} + l_{\alpha}l_{\beta}$ , donde  $\eta_{\alpha\beta}$  indica un espacio plano y  $l_{\alpha}$  un vector isótropo. Lluís Mas obtiene las condiciones para que el vector  $l_{\alpha}$  sea geodésico y sin distorsión.

Para este tipo de métricas no se han encontrado soluciones interiores que se adapten como solución exterior, por lo que no tienen, en principio, un claro sentido físico. Para solventar esta dificultad se puede suponer que el cuerpo central que produce el campo admite una estructura tal que su tensor de energía-impulso se corresponde con los de la magnetohidrodinámica, lo que genera en el exterior, además de un campo gravitatorio, uno magnético.

El objeto de Lluís Mas es, imponiendo una estructura del mismo tipo que la establecida por la métrica de Kerr, encontrar una solución de este tipo, que será del primer grupo indicado más arriba, es decir el modelo de simplificación basado en simetría axial, y buscar una interpretación física. Se puede asociar el significado físico de esta solución con la estructura interior de los “púlsares”, que se suponen de una

---

<sup>41</sup> L. Mas, “Une solution des équations d'Einstein avec champ magnétique”, *C. R. Acad. Sc. Paris*, v 270, p 837, 1970.

<sup>42</sup> Lluís Mas Franch, *Estudio sobre los espacios-tiempos del tipo de Kerr-Schild*. Resumen de la Tesis presentada para aspirar al grado de Doctor en Ciencias, Universidad de Barcelona, Barcelona, 1970.

masa de gran densidad, en rotación y con un campo magnético suficientemente fuerte. Para los cálculos el físico español hace uso de la clasificación de los tensores según lo establecido por Petrov-Bel.

En la aplicación al espacio-tiempo vacío ( $R_{\alpha\beta}=0$ ) de los resultados asociados a la métrica de Kerr obtiene Mas un sistema de referencia sencillo que se adapta a la hipótesis del estudio, encontrando un vector que no es más que una traslación para el espacio-tiempo plano. La solución de la métrica utilizada en el nuevo sistema de referencia tiene dos interpretaciones físicas: un cuerpo con simetría axial en rotación y un toroide en rotación alrededor de su eje. Posteriormente se pueden aplicar los resultados al caso de un campo magnético, como caso particular del de un campo electromagnético cualquiera. El cálculo parte de las ecuaciones de campo en función del tensor electromagnético

$$S_{\alpha\beta} = k \left( \frac{1}{4} g_{\alpha\beta} F_{\lambda\mu} F^{\lambda\mu} - F_{\alpha}^{\rho} F_{\beta\rho} \right).$$

Para el campo magnético se obtiene una solución que admite dos isometrías y la métrica puede adaptarse a dichas isometrías, que forman grupo. Al final obtiene una métrica de la que no está claro su interpretación física. Quedaría pendiente, pues, la posibilidad de una aplicación física según como progresen las observaciones astronómicas.

#### 4.5.5. EL ESTUDIO DE LAS CORRELACIONES ANGULARES DE EDUARDO DE RAFAEL

También merece atención otro físico español becado en Francia esos años para trabajar en física nuclear y de partículas, como es Eduardo de Rafael, del que nos interesan sus contribuciones sobre cuestiones de mecánica cuántica relativista. También participó en el congreso de Santander de 1965, con una comunicación sobre partículas elementales denominada “Correlaciones angulares: aplicación al estudio de partículas y resonancias”, basada en un trabajo anterior de él mismo, conjuntamente con Claude Henry, donde estudió la aplicación del principio de invarianza relativista al fenómeno de correlaciones angulares en desintegraciones nucleares de partículas inestables.<sup>43</sup> Para entender este estudio se hace necesario repasar brevemente el concepto de correlación angular en desintegraciones nucleares.

En un núcleo inestable, la probabilidad de emisión de una partícula o cuanto de radiación depende del ángulo entre el eje del espín nuclear y la dirección de la emisión radiactiva. En general, la radiación total es isotrópica porque los ejes del espín nuclear están orientados al azar, pero puede haber una distribución anisótropa de la intensidad de dicha radiación si ésta se emite por un conjunto de núcleos, cuyos ejes de espín están orientados en una dirección preferente, es decir que no están orientados al azar.

---

<sup>43</sup> Eduardo de Rafael y Claude Henry, “Relativistic theory of angular correlations in successive two-body decays on unstable particles”, *Ann Inst. Henri Poincaré*, vol. II, nº 2, 1965, p. 87-104.

(Es posible mediante técnicas basadas en campos magnéticos intensos a muy bajas temperaturas lograr conjuntos de núcleos polarizados según la interacción de sus momentos magnéticos y eléctricos con los campos externos; también en reacciones nucleares o procesos de desintegración dirigidos se pueden seleccionar núcleos cuyos ejes de espín estén orientados en una determinada dirección). Muchos núcleos se desintegran mediante dos emisiones sucesivas de radiación, de direcciones diferentes. La intensidad de la segunda radiación sucesiva depende del ángulo formado por ambas direcciones de radiación, de tal forma que esta segunda radiación tiene una distribución angular anisótropa respecto de la dirección de la primera. A esta distribución angular es a lo que se denomina correlación angular de la radiación nuclear.<sup>44</sup>

En el artículo citado anteriormente, De Rafael y Henry realizan una descripción relativista de partículas con espín arbitrario y del proceso de desintegración nuclear, obteniendo la fórmula general para la correlación angular en sucesivas desintegraciones, y demostrando además que las ecuaciones asociadas son relativísticamente covariantes. Para este trabajo se basan en estudios de E.P. Wigner, entre otros, sobre invariancia en mecánica cuántica relativista y aplicación de teoría de grupos para el análisis de espectros atómicos.

---

<sup>44</sup> Información extraída de Rolf M. Steffen, "Correlación angular de la radiación nuclear", en Rita G. Lerner y George L. Trigg, *Enciclopedia de la Física*, Alianza Editorial, Madrid, 1987, p1279-1282.



#### 4.6. LOS TRABAJOS ORIGINALES DE DARÍO MARAVALL

Darío Maravall Casesnoves, nacido en 1923, compaginó los estudios de Ingeniería con los de Matemáticas, siendo Doctor Ingeniero Agrónomo y Doctor en Ciencias Exactas por la Universidad Complutense de Madrid. Salvo dos años en que estuvo becado en el Instituto “Jorge Juan” de Matemáticas del CSIC, su labor profesional se desarrolló como catedrático de Matemáticas y de Física en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid. Pero su interés multidisciplinar le llevó a publicar numerosos trabajos de física y matemáticas, concretamente en temas de relatividad, movimiento browniano, estadística y procesos estocásticos, estadística cuántica, matemática aplicada a la ingeniería y procesos biológicos, matemática pura (espacios métricos y de Hilbert, ecuaciones diferenciales), lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia. Además, vió publicados hasta veinticuatro libros suyos sobre muchos de los temas citados anteriormente, incluyendo libros de texto para estudios de ingeniería sobre física y matemáticas. Como miembro académico de la Real Academia de Ciencias de Madrid fue el encargado de las conferencias de apertura y clausura de los ciclos conmemorativos organizados por dicha Academia sobre Física Cuántica y el centenario del nacimiento de Einstein en 1979.

En lo que respecta a la relatividad, aunque no realizó ningún libro completo, publicó más de treinta trabajos, iniciados desde 1947, y aparecidos en revistas especializadas como las de la Real Academia de Ciencias de Madrid, la *Revista Matemática* de la Real Sociedad Matemática Española y la revista *Euclides*, revista de ciencias especialmente dedicada a la matemática. La mayoría de estos trabajos sobre relatividad tienen un claro carácter avanzado e innovador y, en algunos casos, con propuestas originales suyas, que abarcan casos particulares de relatividad general, cuestiones de cosmología y teoría de campo unificado. Estas propuestas en ningún caso suponían quiebra de la “ortodoxia” dentro de la física relativista establecida, aunque sí en algunos aspectos de combinación de la relatividad con la física cuántica. También propuso algunas alternativas en cuanto a procedimientos de cálculo para llegar a conclusiones similares dentro de la relatividad, sin implicar por ello refutación de la misma. En cuanto a cuestiones cosmológicas y de teorías unificadas, el hecho de que no hubiera un cuerpo de doctrina unitario en la comunidad científica, implica que sus propuestas personales tampoco se deben interpretar como contrarias a la relatividad.

El propio Maravall afirma que sus contribuciones a la relatividad son “el resultado de una afición y no de una profesión, de aquí su independencia respecto a cualquier escuela o directrices trazadas *a priori* y la carencia de un plan o de un fin”<sup>1</sup>. Aunque es cierto que no se dedicó profesionalmente a esta rama de la física teórica, su extensa producción al respecto, prolongada durante años hasta la década de los ochenta del siglo pasado, así como el hecho de que algunos de sus trabajos vinieran reseñados en algunos libros sobre relatividad, como el de Synge y el de Tonnelat, le hacen merecedor, en mi opinión, de una mayor relevancia que la de un simple aficionado.

---

<sup>1</sup> Maravall, *Grandes problemas de la filosofía científica*, Editora Nacional, Madrid, 1973, p. 243.

Además, es importante señalar que Maravall fue de los pocos científicos en España, junto a Tharrats, Ortiz Fornaguera, Garrido, Galindo o Ynduráin, entre otros, que no se limitó a exponer aspectos ya conocidos de la relatividad, sino que trata aspectos actuales, para cada una de las épocas, de aplicaciones concretas con gran complejidad de cálculo matemático, en algunos casos probablemente contribuciones originales, aunque también posiblemente sin haber trascendido en la física relativista a nivel internacional.<sup>2</sup>

En el acto de nombramiento de Maravall como *Dr. Cum Laudem* por la Universidad de Valencia se afirmaba lo siguiente sobre la importancia de su figura:

A muchos colegas he oído decir que Don Darío es el último sabio renacentista [...]

Su labor de investigación, muy fecunda y variada, ha buscado nuevos campos para la aplicación de las matemáticas y nuevas fuentes de problemas matemáticos, siempre preocupado por las estructuras matemáticas subyacentes en los problemas del mundo material o de la actividad humana.<sup>3</sup>

En opinión de Maravall la relatividad se divide en tres grandes tipos de teorías físicas, la relatividad restringida, la relatividad general y la extensión de esta última a teorías unitarias de gravitación y electromagnetismo.

En resumen, Maravall elaboró un cálculo tensorial aplicándolo a la relatividad, más general que el clásico, en el que la diferenciación de tensores depende de la dirección, lo que aplicó a un intento de elaborar una teoría unitaria de los campos gravitatorio y electromagnético. Extendió el cálculo diferencial absoluto de Levi-Civita para soluciones de las ecuaciones de campo en casos concretos. Planteó una estructura discontinua de las variables físicas en la que se cuantificaba el espacio y el tiempo, propuesta a la que llegó combinando los resultados de la relatividad general (en los que consideraba un universo finito en expansión durante un tiempo determinado) con las relaciones de incertidumbre de Heisenberg. Desarrollando esta idea llegó a postular una cosmología relativista y cuántica a la vez, en la que el número cósmico definido por Eddington, inicialmente estático, en Maravall resulta ser variable en el tiempo. Relacionado con esta idea introdujo la constante de Planck, a partir de su teoría de cuantización del espacio y el tiempo, para el cálculo del radio del universo y del tiempo de expansión del mismo. Todo esto lo veremos a continuación en detalle al repasar sus trabajos.

El propio Maravall realizó un resumen de sus contribuciones sobre relatividad y en síntesis son las siguientes:<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Evidentemente aquí estoy excluyendo los casos de Bel, Mas, Capella y Martínez-Risco que aportaron originalidad pero fuera de nuestras fronteras, así como los de los físicos relativistas que trato en el capítulo quinto, ya en los años setenta.

<sup>3</sup> José Eduardo Torres Sotelo, "Laudatio del Excmo. Sr. D. Darío Maravall Casesnoves".

<sup>4</sup> Maravall, "Einstein", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1994, p 105-141. Su propia síntesis de sus aportaciones personales aparecen desde la p. 126 a 140. En cualquier caso son trabajos de la década de los 80.

1º - El espacio solar es un espacio no euclídeo, caracterizado por una hipersuperficie de revolución en un espacio euclídeo de 4 dimensiones, dicha hipersuperficie tiene unas arrugas, asociadas a las estrellas.

2º En las mecánicas estadísticas clásica y cuánticas para temperaturas muy altas hay que hacer una corrección relativista que implica una modificación de la ecuación de los gases perfectos.

3º Desarrolló una teoría relativista de los sistemas materiales holónomos cuando existe una función de fuerzas, donde extiende las transformaciones de Lorentz a los momentos y energías de un sistema de puntos materiales.

4º Planteó la dinámica relativista de una carga eléctrica puntual en un campo gravitatorio y en otro electromagnético, con el establecimiento así de una propuesta de teoría unitaria de campo.

5º Postuló otra teoría unitaria de campo conservando la métrica riemanniana pero cambiando el sistema de derivación covariante de tal forma que dicha derivación sea dependiente de la dirección, obteniendo así que los espacios están dotados tanto de curvatura como de torsión.

6º Para partículas elementales, con aplicaciones de transformadas de Laplace y de Fourier, llega a establecer la posibilidad de representar espines y momentos magnéticos de masas y cargas puntuales o nulas, pudiendo obtener masas nulas o puntuales con momentos de inercia.

Pero este resumen del propio Maravall incide más en sus trabajos finales, a partir de 1979, dejando de lado superficialmente su prolongada bibliografía de los años 50, publicaciones en las que nos vamos a centrar a continuación.

Antes de entrar de lleno en el análisis de los trabajos de Maravall, considero conveniente realizar un sucinto repaso a sus publicaciones sobre relatividad. La primera es de 1947 y plantea la existencia de un efecto de aberración sobre la gravedad, similar al de la luz, lo que le permite obtener la aceleración centrípeta partiendo de la trayectoria relativista de un planeta<sup>5</sup>. Fijémonos en lo pronto de la fecha, con 24 años, recién licenciado y trabajando en cuestiones de ingeniería sin haber comenzado todavía el doctorado, lo que indica su interés personal al margen de cuestiones profesionales, consiguiendo que le publicaran en una de las pocas revistas especializadas en España.

Hasta 1950 no vuelve a publicar sobre relatividad, consiguiéndolo con un trabajo en el que calcula dos de los hechos experimentales de la relatividad general, la desviación de la luz y el corrimiento de las rayas espectrales, a partir de la idea de la inercia de la energía y sin basarse, en principio, en las postulados de la relatividad general.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Darío Maravall, "La aberración y la aceleración de la gravedad", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1947, p. 90 a 95.

<sup>6</sup> Darío Maravall, "Una nueva teoría de desviación de los rayos luminosos y del corrimiento de las rayas espectrales hacia el rojo por la acción de un campo gravitatorio", *Euclides*, vol 10, nº 111-112, Mayo-Junio 1950, p 203-207.

En este mismo año publica una serie de artículos en la revista *Euclides*, donde, combinando la relatividad especial con el principio de incertidumbre de Heisenberg, propone la cuantización del espacio y el tiempo, así como de la masa y la velocidad de las partículas.<sup>7</sup> Esto tendría consecuencias a nivel cosmológico, ya que con su criterio de cuantización calcula valores cosmológicos, como el tiempo transcurrido desde la expansión del universo y el número de partículas del mismo.<sup>8</sup>

Basándose en su teoría de la discontinuidad de las variables dinámicas calculó la densidad del universo<sup>9</sup> y estableció una estructura del universo en expansión con aplicación a cuestiones teóricas sobre los rayos cósmicos.<sup>10</sup> Hay que notar que el mismo Maravall indica que estas aportaciones suyas son originales, aunque no da referencias que puedan validar dicha reflexión.

Realizó varios trabajos de aplicación concreta de cálculos relativistas, aunque ya no relacionados con su teoría de la cuantización de variables. Por ejemplo, en 1951 obtiene soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein en elementos con simetría axial.<sup>11</sup> También consiguió, partiendo de la solución de Schwarzschild para las ecuaciones de campo, la solución para el elemento lineal en un caso particular de simetría esférica, solución que, según indica el propio Maravall, no se había obtenido anteriormente.<sup>12</sup> Otros ejemplos fueron el estudio relativista en esferas pulsátiles<sup>13</sup> y el problema del cuerpo único en la teoría de la relatividad, que lo relaciona con el origen de los rayos cósmicos<sup>14</sup>. Fijémonos en la capacidad de producción de Maravall desde 1950 a 1953.

Poco a poco su producción sobre relatividad va disminuyendo. Aun así en 1955 presenta un ensayo de teoría unitaria<sup>15</sup>. Salvo en 1965, donde en un libro suyo de cálculo tensorial para escuelas de ingeniería<sup>16</sup> trata los espacios de torsión ya usados

---

<sup>7</sup> Maravall, "La cuantificación del espacio y el tiempo en la mecánica ondulatoria", *Euclides*, vol 10, nº 113-114, Julio-Agosto 1950, p 247-250; "La cuantificación de la masa, de la velocidad y de la incertidumbre del reposo absoluto en Mecánica ondulatoria", *Euclides*, v 10, nº 116, 1950, p 336-339.

<sup>8</sup> Maravall, "Las consecuencias cosmológicas y cosmogónicas de mi teoría de la discontinuidad de las variables de la mecánica ondulatoria. Cálculo del límite superior de la masa propia del fotón", *Euclides*, v 10, nº117, Noviembre 1950, p 385-389; "Cálculo original del número de electrones y de protones del universo. Demostración de que la posición del fotón no es observable en mecánica ondulatoria", *Euclides*, v 10, nº118, Diciembre 1950, p 427-432.

<sup>9</sup> "Cálculo original del límite superior de la relación masa-radio de los cuerpos materiales y de la densidad del universo en función del radio", *Euclides*, vol 11, nº123-124, mayo-junio 1951, p 205-210.

<sup>10</sup> "Mi teoría de la estructura cosmológica del universo en expansión", *Euclides*, vol 11, nº129-130, Nov-Dic1951, p 391-404; "La explicación de la fuga de las galaxias en mi teoría de la expansión del universo. Variación de la energía de ionización de los rayos cósmicos en función del tiempo", *Euclides*, vol 12, Marzo 1952, p 140-151.

<sup>11</sup> Maravall, "La estructura de los medios con simetría axial en la relatividad generalizada. Aplicación a las galaxias", *Rev. Mat. Hispanoam.*, vol. 11, 1951, p. 277 a 287. Este artículo viene reseñado en *Mathematical Reviews*, vol 14, 1953, p. 98.

<sup>12</sup> Maravall, "La métrica no euclídea del espacio-tiempo en el interior de una masa de fluido barótrópico con simetría esférica", *Rev. Mat. Hispanoam*, 1952, p. 138 a 150.

<sup>13</sup> "Teoría relativista de la atracción de una esfera pulsátil o con spin. Aplicación a las cefeidas", *Rev. Mat. Hispanoamericana*, vol 13, 1953, p. 153.

<sup>14</sup> Maravall, "La solución dinámica del problema del cuerpo único en la teoría de la relatividad. Hipótesis sobre el origen de los rayos cósmicos", *Euclides*, vol. 13, 1953, p 62-72.

<sup>15</sup> Maravall, "Ensayo de teoría unitaria de la gravitación y del electromagnetismo", *Rev. Mat. Hispanoamericana*, vol XV, 1955, págs 88 a 114 y 165 a 181.

<sup>16</sup> Maravall, *Mecánica y cálculo tensorial para ingenieros*, 2ª edición, ed Dossat, Madrid 1965.

en su teoría unitaria, no vuelve a publicar sobre relatividad hasta 1978, prodigándose ya en los años 80 con nuevas contribuciones.

#### 4.6.1. IMPLICACIONES DE LA CUANTIFICACIÓN DEL ESPACIO Y EL TIEMPO DE MARAVALL

En 1950, a través de cuatro trabajos publicados en la revista *Euclides*, presenta Maravall su teoría de la cuantización del espacio y el tiempo y las aplicaciones que conlleva, teoría que siempre insiste es original suya. Extendió esta teoría a cuestiones cosmológicas, en diferentes artículos aparecidos en la misma revista durante los años 1951 y 1952. Veamos a continuación las ideas principales de su teoría.

Combinando la relatividad especial con el principio de incertidumbre, se puede concluir, según Maravall, la existencia de cuantos de espacio y tiempo en mecánica ondulatoria. Estos cuantos son independientes de la energía y de la cantidad de movimiento de los corpúsculos pero sí dependen de la masa. Calculando el valor de estos cuantos para el electrón y los núcleos atómicos concluye que no tiene sentido obtener de forma explícita la forma del electrón pero sí la de los núcleos pesados.

A juicio de Maravall, los dos conceptos que marcan la separación de la física moderna respecto de la clásica son la influencia de la distribución de materia en la métrica del espacio-tiempo y el principio de incertidumbre de Heisenberg, es decir el hecho de que el espacio y el tiempo son influidos por los fenómenos que en ellos suceden y que los sistemas se ven modificados por las propias medidas sobre éstos. Estos hechos no afectan a la relatividad restringida ni a la física cuántica clásica, que “en esencia continúan dentro de la línea de pensamiento clásico” ya que siguen sin considerar interacciones que las nuevas teorías tienen en cuenta<sup>17</sup>.

Maravall realiza consideraciones relativistas en la formulación del principio de incertidumbre de Heisenberg, con lo que al unir ambas teorías deben surgir nuevas relaciones de incertidumbre. En una onda plana monocromática, la energía y cantidad de movimiento se expresan por la relación  $|p|^2 = \frac{W^2}{c^2} - m_0^2 c^2$ , derivando se obtiene que

$$\Delta p = \left( \frac{w}{|p|c} \right) \frac{\Delta w}{c}$$

y de la expresión original se deduce que

$$|p|^2 < W^2/c^2, \text{ es decir } |p| < W/c, \text{ por lo tanto } \Delta p > \Delta w/c.$$

De la relación de incertidumbre de Heisenberg asociada a la energía y el tiempo tenemos

$$\Delta w \Delta t \geq h, \text{ por lo tanto } \Delta p \geq \frac{h}{c \Delta t}$$

---

<sup>17</sup> Maravall, “La cuantificación del espacio y el tiempo en la mecánica ondulatoria”, *Euclides*, 1950, p. 248.

Esta nueva relación de incertidumbre depende además de la constante de Planck  $h$ , de la velocidad de la luz y del tiempo que dure la observación,  $\Delta t$ . Como  $p=mv$ , tenemos que

$$\Delta w \leq m_0 c \Delta|v|.$$

Como, por la teoría de la relatividad, se establece que  $c$  es el límite de velocidad, por lo tanto la certidumbre con la que se conozca una velocidad es menor que  $c$ , luego  $\Delta w \leq m_0 c^2$ , que llevado a la expresión  $\Delta w \Delta t \geq h$  se obtiene  $\Delta t > \frac{h}{m_0 c^2}$ .

Análogamente, partiendo de la otra relación de incertidumbre de Heisenberg, tenemos  $\Delta p \Delta q \geq h$  y la nueva relación equivalente es  $\Delta q > h/m_0 c$ , por lo tanto en mecánica ondulatoria no tiene sentido hablar de longitudes inferiores a  $h/m_0 c$  y tiempos inferiores a  $h/m_0 c^2$ , con lo que, en sus propias palabras,

... queda demostrada la atomicidad (discontinuidad) de espacio y tiempo, sus cuantos respectivos valen  $h/m_0 c$  y  $h/m_0 c^2$ , son independientes de la energía y de la cantidad de movimiento del corpúsculo, dependen de la constante  $h$  de Planck, de la velocidad de la luz  $c$  y de la masa  $m_0$ . Por tanto son iguales para todos los corpúsculos de la misma naturaleza (electrones, fotones, protones, etc.) y distintos para corpúsculos de distinta naturaleza, siendo tanto menores los cuantos cuando mayor es la masa del corpúsculo. Por esta razón, en el estudio de los fenómenos macroscópicos, como intervienen cuerpos de gran masa en comparación con la constante  $h$  de Planck, los cuantos de espacio y tiempo son muy pequeños y se pueden considerar estas variables como continuas.<sup>18</sup>

Aplica Maravall los valores obtenidos para calcular los cuantos de espacio y tiempo para el electrón y los núcleos pesados, deduciendo que en el caso del electrón las dimensiones son mucho menores que su cuanto de espacio, por lo que no tiene sentido intentar asignar una imagen precisa del electrón, sí en cambio para los núcleos pesados, donde el cuanto de espacio es menor que las dimensiones del núcleo.

Extendió Maravall su propuesta de cuantización del espacio y tiempo a la masa y velocidad, extrayendo conclusiones sobre el concepto de reposo absoluto.<sup>19</sup> Parte de la idea de que la velocidad de la luz se manifiesta como la velocidad necesaria para recorrer un cuanto de espacio en un cuanto de tiempo. Introduciendo la noción del radio del universo de la cosmología relativista se pueden obtener nuevas relaciones de incertidumbre y concluir que el reposo absoluto no es un observable en mecánica cuántica. De esta forma los resultados obtenidos son dos:

- La masa es una variable discontinua en mecánica ondulatoria y el cuanto de masa es una constante física de valor  $10^{-64}$  gr.

<sup>18</sup> Maravall, "La cuantificación del espacio y el tiempo en la mecánica ondulatoria", *Euclides*, 1950, p. 249.

<sup>19</sup> Maravall, "La cuantificación de la masa, de la velocidad y de la incertidumbre.....", *Euclides*, 1950, p. 336-339.

- La velocidad es una variable discontinua en mecánica ondulatoria y el cuanto de velocidad es inversamente proporcional a la masa del corpúsculo, con valor  $10^{-54}$  cm/sg.

Maravall defiende la compatibilidad de su teoría con cualquiera de los modelos cosmológicos que se adopten, los estáticos como el semieuclídeo de la relatividad restringida (aunque él dice euclídeo), el de Einstein y el de Sitter, y los dinámicos (en expansión). En los dinámicos, la variación del radio del universo es muy lenta como para afectar a la cuantificación de la masa y la velocidad.

De la relación de Heisenberg  $\Delta(mv) \Delta q \geq h$ , se deduce que, para conseguir la mínima incertidumbre que se puede cometer en la determinación de la masa, hay que considerar los máximos valores de  $v$  y  $q$ , es decir  $c$  y  $R$ , donde  $R$  es la radio del Universo, por lo tanto  $\Delta m \geq h/cR \approx 10^{-27}/10^{10}10^{27} = 10^{-64}$  gr, esto indica que la masa es una variable discontinua en mecánica ondulatoria y el cuanto de la masa es una constante física. Razonamiento similar se puede realizar para la velocidad, obteniendo  $\Delta v \geq (10^{-54} \text{ cm/sg})$

Por lo tanto, para corpúsculos de masa  $m$  carece de sentido en mecánica ondulatoria hablar de velocidades inferiores al cuanto calculado, por lo que el reposo absoluto no es un observable en mecánica ondulatoria.

De todo lo anterior extrajo Maravall una serie de consecuencias cosmológicas,<sup>20</sup> concluyendo que existe un límite superior de la masa propia del fotón, que es su cuanto de masa, lo que elimina las dificultades en la teoría cuántica de la radiación. Aplica esta teoría a la Cosmología, calculando la duración del tiempo transcurrido desde el principio del Universo hasta el momento actual, demostrando que la expansión del Universo es una consecuencia inevitable de la mecánica ondulatoria. También la energía es una variable discreta en mecánica ondulatoria y el cuanto de energía es  $10^{-44}$  erg. Para Maravall, el único punto de partida válido para una cosmogonía compatible con la mecánica ondulatoria es la hipótesis del átomo primitivo de Lemaître.

En principio, la cuantización de las variables anteriores sólo son aplicables para casos de velocidades menores que las de la luz, por lo que no son válidas para fotones.

La energía en dinámica relativista es  $E=mc^2 + \frac{1}{2}mv^2$ , aplicando similares criterios de considerar mínima incertidumbre se llega a  $\Delta E=c^2\Delta m$ , es decir la cuantificación de la masa, velocidad, espacio y tiempo implican la existencia de cuantos de energía. Esta cuantificación no es la misma que la asociada a la radiación de su frecuencia (la establecida por Planck), ya que es una constante física, igual para todos los cuerpos, ésta es la auténtica atomicidad de la energía.

Del valor obtenido se puede calcular el máximo valor que se puede dar en el tiempo, siendo  $1,6 \times 10^9$  años y que coincide con el tiempo máximo transcurrido, del orden de 1.600 millones de años. Este es un valor similar al obtenido por la cosmología relativista mediante el uso de la constante de Hubble, en cambio Maravall dice que su

valor lo obtiene con la constante de Planck que no juega ningún papel en la cosmología relativista.

Es interesante destacar que entre el radio del universo y el tiempo transcurrido hay una relación que es aproximada a  $c$ . En mi opinión no es aquí del todo riguroso porque para obtener el tiempo transcurrido ha partido de la expresión  $R/c$ , por lo que el resultado es lógico.

Para Maravall, el conocimiento que tenemos de las nebulosas extragalácticas procede únicamente del análisis de la radiación que emiten, y como la radiación viaja con la velocidad de la luz, el radio del universo observable ha de ser forzosamente igual al producto de la velocidad de la luz por el tiempo transcurrido desde el principio del universo hasta el momento actual. En definitiva, de regiones situadas más allá del radio calculado no nos ha podido llegar aún radiación; por consiguiente son regiones no observables.

Defiende Maravall que la expansión del universo está implícita en su teoría porque “a medida que transcurre el tiempo y dada la reversibilidad de las fórmulas halladas, la incertidumbre en la posición va siendo mayor, lo cual significa que el radio del universo crece con el tiempo”.<sup>20</sup> Desarrolla esta idea considerando que, al principio de la existencia de nuestro universo, la incertidumbre en el tiempo era muy pequeña porque el tiempo transcurrido era pequeño, pero como la incertidumbre del tiempo depende linealmente del radio del universo, se deduce que éste tenía que ser muy pequeño. En el instante del comienzo, la incertidumbre del tiempo era nula luego el radio también, por lo tanto, las únicas cosmogonías compatibles con la mecánica ondulatoria son las que admiten como punto de partida la hipótesis del átomo primitivo, que fue desarrollada por Lemaître partiendo de la termodinámica cuántica.

Otra aplicación de su teoría se basaba en uno de los problemas de la física de la época: el que, admitiendo la doble naturaleza ondulatoria y corpuscular de la materia y la radiación, concluir si el fotón tiene masa o no. Entre las razones a favor de que tenga masa es que en las ecuaciones de cuantificación del campo electromagnético, las funciones asociadas no son continuas cuando la masa propia del fotón se anula. Entre las razones contrarias está que no se explicarían los fenómenos de aniquilación. Además, en la dinámica relativista (dada por  $E=mc^2/(1-v^2/c^2)^{1/2}$ ) se obtendría que cuanto menor es la energía de un fotón más lenta sería la velocidad, es decir, se produciría una dispersión de la radiación, lo que también contradice los hechos. En ambos casos hay contradicciones y Maravall compara esta situación con los problemas cuando se consideraba la naturaleza corpuscular frente a la ondulatoria y viceversa, problema que no se solucionó hasta la síntesis de De Broglie con la dualidad onda-corpúsculo. En su opinión hay que realizar una síntesis similar con la masa propia del electrón, que se puede comportar como nula en unos casos, o con un valor para la misma no nulo. La solución a este enigma está en su teoría de la discontinuidad de las variables, escogiendo como masa propia del fotón un valor menor que el cuanto de masa, por lo que sería una masa no observable.

---

<sup>20</sup> Maravall, “Las consecuencias cosmológicas .....”, *Euclides*, 1950, p 385-389.

<sup>21</sup> *Ibidem*, *Euclides*, 1950, p. 387.



Refiere para ello una idea de De Broglie al respecto (*Une nouvelle théorie de la lumière*, Paris, 1940), en la que plantea que el fotón tiene masa propia, pero lo suficientemente pequeña como para que no influya en la dispersión de la radiación en el vacío. Por consideraciones teóricas, De Broglie calculó como límite superior de la masa propia del fotón  $10^{-44}$  gr y creyó posible determinar dicho valor experimentalmente. En cambio, Maravall establece el límite superior en  $10^{-65}$  gr con el importante añadido conceptual de que no sería verificable, por no ser un observable.

Maravall amplió su teoría de discontinuidad a los ángulos y momentos cinéticos, con lo que calcula el número de electrones y de protones del universo.<sup>22</sup> Este número resulta ser proporcional al radio, por lo que la masa y la densidad varían con el tiempo. También establece la imposibilidad de calcular el número de fotones del universo. Esto se basa en combinar su teoría de la discontinuidad de variables con la teoría de segunda cuantificación (supercuantificación) de la onda de un sistema de  $n$  bosones (corpúsculos que obedecen la estadística de Bose-Einstein). Para este cálculo considera la mecánica ondulatoria relativista del electrón, establecida por Dirac, en la que se obtiene una densidad de presencia del electrón dada por  $\rho = \sum \psi |\psi|^*$

Maravall quiso hacer hincapié en mostrar las diferencias de su teoría (sobre la cuantificación del espacio y el tiempo) con la de Heisenberg, defendiendo que la suya tiene ventajas porque, aplicándola a los conceptos de masa y fuerza, se logra uniformar la geometría natural que explica el mundo físico, de tal forma que se pueden sustituir las diferentes geometrías del mundo físico por una sola, que generalmente será euclídea. Muestra las diferencias entre la teoría de la relatividad y su propia teoría en cuanto a las interacciones entre masa y espacio-tiempo.<sup>23</sup>

En 1933 Heisenberg indicó que la medida menor que se podía realizar es el radio del electrón, ya que para medir longitudes en distancias recorridas por un corpúsculo se deben usar radiaciones cuya longitud de onda sea menor que la longitud que se debe medir. Para el caso del electrón, dicha radiación lo desintegraría, motivo por el que no se puede medir su radio. Es decir, el límite inferior para longitudes es  $r_0 = 2,8 \times 10^{-23}$  cm y de la relatividad especial se concluye que el tiempo mínimo medible es  $t_0 = 9,4 \times 10^{-24}$  sg. Las diferencias entre la teoría de Heisenberg y la de Maravall son que el límite en Heisenberg es una constante natural, el radio del electrón, y que la imposibilidad es referente a la medida, en cambio para Maravall es una imposibilidad epistemológica.

En cuanto a la indicación anterior sobre la geometría, para la física clásica se pensaba que la natural era la única existente, la euclídea. Luego surgieron las geometrías curvas de Lobachevsky y Riemman pero como constructos matemáticos, en física se seguía pensando que la natural correspondía a la euclídea. Posteriormente Poincaré defendió que no tenía sentido afirmar qué tipo de geometría era la natural, cualquier geometría puede representar el mundo físico y debemos guiarnos para elegir una u otra por un criterio de comodidad. Pero Einstein defendía la existencia de una geometría natural y que ésta viene definida por la distribución de

<sup>22</sup> Maravall, "Cálculo original del número de electrones y protones del Universo...", *Euclides*, 1950, p 427-432.

<sup>23</sup> Maravall, "El concepto de fuerza y de masa en física y el problema de la geometría natural", *Euclides*, v 11, nº120, Febrero 1951, p 61-65.

materia, curvándose en presencia de ésta y siendo euclídea en su ausencia. Posteriormente Eddington, Weyl y el propio Einstein intentaron extender la geometrización de la gravitación al electromagnetismo y esto implicó que la geometrización de la Física fuera, a mediados del siglo XX, uno de los temas favoritos de la literatura científica.

Según Maravall, el problema está en que las dos disciplinas modernas, relatividad y física cuántica, contemplan interacciones que no considera la física clásica, la relatividad estima la interacción entre espacio y tiempo por un lado y la materia por otro lado; la cuántica estima una interacción entre las medidas de dos variables dinámicamente conjugadas y la física clásica no considera ninguna de estas interacciones. Pero la física, en su evolución, tiene una tendencia a aproximarse asintóticamente a la geometría usada en la física clásica.

Siguiendo con aplicaciones de su teoría del carácter discontinuo de las variables dinámicas, que hemos visto obtuvo él mismo fundiendo aspectos de relatividad con mecánica cuántica, publica en 1951 otro trabajo en el que demuestra la existencia de un límite superior de la relación masa-radio de los cuerpos materiales<sup>24</sup>. También realiza un cálculo de la densidad del universo en función del radio, que es la base de su teoría cosmológica del universo en expansión. Calcula la velocidad con la que se mueve la luz cuando está sometida a un campo gravitatorio, obteniendo la expresión

$$V = c \frac{1 - 2GM}{c^2 r}. \text{ De aquí deduce que (como } v \text{ debe ser real) se debe cumplir la}$$

condición  $\frac{M}{r} \leq \frac{c^2}{2G}$  es decir  $M/r \leq 6,7 \times 10^{27} \text{ gr/cm}$  que es el límite superior para la relación masa-radio.

En el caso en que se llegue a este límite, ni la radiación ni cualquier clase de energía puede abandonar nunca dicho cuerpo, por lo tanto si existiese alguno de estos cuerpos sería inobservable por lo que, según Maravall, no formaría parte del universo físico. Igualmente existe un límite superior para los campos gravitatorios, que sería

$$\frac{GM}{r} \leq \frac{c^2}{2}.$$

En otro trabajo, también aparecido en la revista *Euclides* en 1951, aplica su teoría de la discontinuidad de las variables a las ecuaciones de campo de la relatividad general, obteniendo así su teoría de la estructura cosmológica del universo<sup>25</sup>. Explica en detalle el modelo estático de De Sitter y Einstein con el cálculo del elemento lineal aplicándolo a las ecuaciones de campo. Detalla ventajas e inconvenientes, entre los que destaca que no implica un universo en expansión (Maravall utiliza en las ecuaciones de campo la constante cosmológica que implica una solución estática). Detalla también el intento de Friedman y Lemaître para obtener una solución dinámica, de tal forma que en el elemento de línea los coeficientes de las diferenciales deben depender de  $r$  y de  $t$ . De las ecuaciones obtenidas, que dice son tremendamente difíciles de resolver, se

---

<sup>24</sup> Maravall, "Cálculo original del límite superior de la relación masa-radio de los cuerpos materiales y de la densidad del universo en función del radio", *Euclides*, 1951, p 205-210.

obtiene los diferentes modelos cosmológicos con las hipótesis de partida, que se aplican a dichas ecuaciones como condiciones de contorno.

Para Maravall, la solución al problema radica en recurrir a consideraciones cuánticas microscópicas, porque las constantes naturales relativistas tienen que tener algún tipo de relación con las cuánticas. Para él, la ventaja de su teoría es que tiene en cuenta la mecánica ondulatoria, cosa que no ocurre en las cosmologías relativistas.

En su teoría, la masa aumenta con el tiempo en caso de expansión y disminuye en caso de contracción, pero en esta masa está incluida la energía radiante y el número cósmico puede disminuir en caso de transformación de masa en energía. Para los cálculos, parte de las ecuaciones de Friedman, pero sustituye la densidad del universo por su función de  $r$  según lo que él había calculado anteriormente en otros trabajos. Obtiene así una constante cósmica positiva, que implica, según las condiciones de contorno, diferentes posibilidades: o bien un universo en expansión para un valor mayor que la densidad; oscilante si es mayor que cero pero menor que la densidad; o bien y si la constante es igual que la densidad, entonces implicaría un universo estático pero estable (Maravall defiende que el de Einstein no es estable).

Partiendo del elemento lineal de Schwarzschild, demuestra Maravall que la constante cósmica puede ser muy pequeña, lo suficiente para que sea admitida, ya que si no, influiría en el movimiento de los planetas, lo que considera inaceptable. Obtiene un valor del tiempo del universo de  $1,9 \times 10^{10}$  años, lo que considera significativamente diferente de lo admitido por la mayoría de los cosmólogos relativistas (se aceptaba del orden de  $10^9$  años). Maravall cree que el valor anterior es una escala de tiempo muy corta para lo que exige la evolución de las estrellas. Refiere cómo se defiende el propio Einstein en *The Meaning of Relativity* sobre que los fundamentos de la teoría de la evolución de las estrellas son mucho más débiles que los de la relatividad general. En cambio, Maravall defiende que su solución no tiene ese problema

Igualmente, Maravall aplicó su teoría de estructura cosmológica, expuesta en artículos anteriores en la revista *Euclides*, a la explicación de la fuga de las galaxias, mediante la interpretación del corrimiento al rojo del espectro procedente de las galaxias. También demuestra que se da una variedad de la energía de las partículas libres en función del tiempo, con lo que obtiene una disminución en la energía de ionización de los rayos cósmicos, análoga a la de la ley de Hubble para las galaxias. Esto último, en opinión de Maravall, cree que no ha sido señalado anteriormente por los físicos teóricos.<sup>26</sup>

Realiza así un interesante repaso histórico a los intentos de explicación del corrimiento al rojo del espectro de las galaxias, principalmente dos: como resultado del efecto Compton y por el efecto Doppler, que explicaría la expansión de las galaxias. La primera (cambio de frecuencia al chocar los fotones con los electrones interestelares) tuvo que ser desechada por no coincidir con la observación experimental. De la

---

<sup>25</sup> Maravall, "Mi teoría de la estructura cosmológica del universo en expansión", *Euclides*, 1951, p 391-404.

<sup>26</sup> "La explicación de la fuga de las galaxias en mi teoría de la expansión del universo. Variación de la energía de ionización de los rayos cósmicos en función del tiempo", *Euclides*, 1952, p 140-151.

segunda, implicaba desechar los modelos de Universo estático de De Sitter y Einstein. Surgió así el modelo dinámico de Friedman y Lemaître y otros que explicaban la estructura cosmológica, basándose siempre en consideraciones relativistas. Los diferentes modelos cosmológicos resultan de las diferentes hipótesis respecto a la relación entre la densidad y el radio del universo. La observación astronómica exige para la constante cosmológica  $\Lambda$  un valor muy próximo a cero. Como el tiempo que tarda la luz en llegar desde las galaxias es despreciable frente al tiempo transcurrido desde la expansión del universo (despreciable en dos o tres órdenes de magnitud), el resultado del efecto Doppler es del mismo orden que si se considera  $\Lambda=0$ , que es lo que hace para contemplar el elemento lineal en un universo cerrado y en un universo abierto. En el caso del universo cerrado el elemento de línea es

$$ds^2 = \left( \frac{(1+t^2/4R_0^2)}{(1+r^2/4R_0^2)} \right)^2 (dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\phi^2) + dt^2$$

a partir del cual determina el movimiento de los rayos luminosos y el valor de la variación de la longitud de onda de la luz  $\delta\lambda$ <sup>27</sup>. Del desarrollo obtiene

$$\frac{\lambda + d\lambda}{\lambda} = \frac{\left(1 + \frac{v_r}{c}\right) \frac{(1+t_2^2/4R_0^2)}{(1+t_1^2/4R_0^2)}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

de donde se deduce que la aportación de este corrimiento es por dos motivos: el movimiento relativo de unas galaxias respecto a otras (el factor  $1 + \frac{v_r}{c}$ ) y la dilatación temporal de un móvil según la relatividad especial (el factor  $\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ ). Siguiendo

con los cálculos resulta  $\frac{d\lambda}{\lambda} \approx 0,85 \cdot 10^{-28} r$  con  $r$  la distancia que nos separa de la galaxia considerada. Para el caso del universo abierto (que también lo denomina espacialmente plano e infinitamente extenso) el elemento de línea vale

$$ds^2 = \left( -\frac{2\pi B t^2}{3} \right)^2 (dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\phi^2) + dt^2$$

donde  $B$  es la constante que interviene en el cálculo de la densidad media del universo  $\rho = \frac{B}{R}$ , y con cálculos equivalentes se obtiene  $\frac{\delta\lambda}{\lambda} \approx 2,6 \cdot 10^{-28} r$

Lo que no nos aclara Maravall es si con estos resultados teóricos, y en función de los experimentales que se pudieran obtener, sería, según la bondad de los mismos, motivo para decantarse por un universo cerrado o abierto.

<sup>27</sup> Para detalles de los cálculos *Ibídem*, p. 142 a 145.

Una vez obtenido el valor del corrimiento en ambos casos, pasa a calcular la variación de la energía de las partículas libres en función del tiempo (que es otro fenómeno ligado a la expansión del universo). Este hecho, en el caso de los rayos cósmicos, implica una disminución con el tiempo de su energía de ionización. Esta idea se puede utilizar para medir la edad de dichos rayos cósmicos, lo que Maravall cree “hasta la fecha ningún físico se ha fijado en este fenómeno”. Realiza todo el desarrollo matemático partiendo del elemento lineal del universo cerrado, de las ecuaciones de las geodésicas que rigen el movimiento de las partículas libres y de la expresión de la energía  $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ , obteniendo  $R = R_0 \left( 1 + \frac{T^2}{4R_0^2} \right)$  donde T es el

tiempo que dura la expansión del universo, R el radio del universo, supuesto esférico y  $R_0$  el radio del mismo antes de la expansión.

Aunque ya sin asociación directa sobre la relatividad, Maravall aplicó su teoría de variables discontinuas, como el espacio, tiempo y velocidad a la mecánica estadística<sup>28</sup>.

#### 4.6.2. ESTUDIO DE CASOS CONCRETOS SOBRE RELATIVIDAD EN MARAVALL

Como hemos visto, la primera aproximación de Maravall a la relatividad fue en 1947 con el escrito “La aberración y la aceleración de la gravedad”<sup>29</sup>. En física clásica se considera que la gravedad se propaga de forma instantánea, pero en relatividad la velocidad de propagación de la interacción gravitatoria es la de la luz. Maravall se propone demostrar que, igual que hay un efecto de aberración de la luz<sup>30</sup>, debe existir un efecto de la aberración de la gravedad, en concreto sobre la órbita elíptica que describe un planeta alrededor del sol. Considera que debe haber un ángulo de aberración de la gravedad dado por

$$\text{tge} = \frac{v}{c} \sin \vec{p} \vec{v},$$

donde  $\vec{p}$  es el radio vector del sol al planeta y  $\vec{v}$  la velocidad relativa entre los dos astros, que es el mismo que el ángulo de la aberración de la luz, ya que ambas propagaciones se producen con la misma velocidad. El efecto de la aberración de la gravedad sobre el movimiento del planeta hace que las ecuaciones clásicas (no relativistas) en vez de ser

$$F_x = \frac{d^2 x}{dt^2}; F_y = \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (\text{donde } F_x, F_y \text{ son las componentes de las fuerzas por unidad de masa})$$

<sup>28</sup> Maravall, “La cuantificación de la probabilidad y la imposibilidad física en Mecánica ondulatoria”, *Euclides*, vol. 12, nº 136, Junio 1952, p 225-233.

<sup>29</sup> Maravall, “La aberración y la aceleración de la gravedad”, *Rev. Mat. Hispanoam.*, 1947, p. 90-95.

<sup>30</sup> La aberración es un fenómeno de movimiento aparente de estrellas lejana que resulta de componer la velocidad de la luz con la orbital de la Tierra. En mecánica relativista el fenómenos de aberración aparece ligado a un cambio de sistema de referencia.

sean de la forma

$$F_{1x} = F_x \cos \varepsilon - F_y \sin \varepsilon ; \quad F_{1y} = F_x \sin \varepsilon + F_y \cos \varepsilon$$

Lo que implica que las nuevas fuerzas no están dirigidas en el mismo sentido que las antiguas, sino inclinadas un cierto ángulo  $\varepsilon$  en el sentido del movimiento. Para casos de movimientos circulares y uniformes se obtiene una aberración constante, pero para el resto es variable, aunque muy pequeña, por lo que se puede considerar una primera aproximación, con lo que las ecuaciones de movimiento quedan

$$x_1 = x \cos \varepsilon - y \sin \varepsilon ; \quad y_1 = x \sin \varepsilon + y \cos \varepsilon.$$

Éstas son las fórmulas de transformación de coordenadas por el giro de un ángulo  $\varepsilon$  respecto de los ejes primitivos. En definitiva, la elipse según las leyes de Kepler se modifica, obteniéndose una nueva elipse mediante un giro alrededor de un foco (el sol) de un ángulo  $\varepsilon$  en el sentido del movimiento. La modificación de la línea de los ápsides en el plano de la órbita del planeta es diferente del de la mecánica newtoniana, pero independiente del corrimiento del perihelio de Mercurio. Nótese que aquí Maravall ha tenido en cuenta las ecuaciones clásicas de Newton, considerando sólo el supuesto de que la gravedad se propaga con velocidad finita.

A continuación Maravall obtiene el cálculo de la aceleración centrípeta partiendo de la ecuación relativista de la trayectoria de un planeta, que es

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{p} + \frac{e}{p} \cos(\theta - \delta\theta).$$

Esta ecuación es equivalente a la newtoniana pero difiere en el factor  $\delta\theta$ .

En 1950 expone una idea, que él mismo quiere denotar como original, en la que, sin necesidad de recurrir a la relatividad general, se explican dos hechos experimentales de los que daba cuenta la relatividad: la desviación de los rayos luminosos y el corrimiento gravitacional hacia el rojo<sup>31</sup>. La propuesta de Maravall se basa solamente en la idea de la inercia de la energía, que según él estaba asociada con “la ecuación de las fuerzas vivas de la dinámica newtoniana”, es decir que era propia de la física clásica. Pero es importante destacar que Maravall se postula de modo aséptico, no ataca la relatividad, simplemente muestra otra alternativa para explicar unos hechos, sin ninguna valoración de tipo crítico, como se comprueba con sus propias palabras:

La Teoría de la Relatividad generalizada ofrece en la historia del pensamiento científico uno de los más brillantes y grandiosos esfuerzos para la construcción deductiva de una teoría unitaria, únicamente comparable al realizado en otra dirección por la mecánica ondulatoria; ahora bien, sacrifica nuestros conceptos clásicos de espacio y tiempo; por esta razón toda teoría que intente la explicación de estos dos hechos experimentales o de cualesquiera otros sin recurrir a la teoría de la relatividad, es de gran interés.<sup>32</sup>

<sup>31</sup> Maravall, “Una nueva teoría de desviación de los rayos luminosos y del corrimiento de las rayas espectrales hacia el rojo por la acción de un campo gravitatorio”, *Euclides*, vol 10, nº 111-112, Mayo-Junio 1950, p 203-207.

<sup>32</sup> Maravall, *Ibidem*, pág 204.

Maravall plantea este problema partiendo de la inercia de la energía, a la que se asocia una masa inercial de la forma  $m=E/c^2$ , como si fuera una teoría de la física clásica. Creo que aquí Maravall no es del todo prudente, ya que considerar la idea de la inercia de la energía como propia de la física clásica es motivo de controversia, ya que otros autores consideran que es propio de la relatividad.

Para el cálculo del corrimiento al rojo por la acción del campo gravitatorio, considera la energía de un fotón  $E=h\nu$ . De la inercia de la energía asociada a dicho fotón le corresponde una masa inercial  $m' = \frac{h\nu}{c^2}$ , luego por lo tanto le corresponde un campo gravitatorio  $M$ . Considerando la ley de gravitación newtoniana, este campo ejercerá una fuerza atractiva a la distancia  $r$  sobre el fotón de la forma  $\frac{GMm'}{r^2}$ , siendo el potencial gravitatorio  $-\frac{GMm'}{r}$ .

Hay que notar que aquí está usando Maravall el principio de equivalencia de Einstein, aunque no lo dice. La ecuación de las fuerzas vivas newtoniana es

$$\frac{1}{2}m'v^2 - \frac{1}{2}m'v_0^2 - \frac{GMm'}{r_0} + \frac{GMm'}{r} = 0 \quad ;$$

como en el instante inicial, supuesta la luz procedente de zonas muy alejadas del campo gravitatorio, su velocidad inicial  $v_0$  es  $c$  y  $r_0$  prácticamente tiende a infinito, una vez simplificado queda

$$v = c \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}},$$

y considerando la primera aproximación queda

$$v = c \left(1 - \frac{GM}{c^2 r}\right).$$

El factor  $GM/c^2$  coincide con el  $m$  de la teoría de la relatividad, con lo que en la propia notación de Einstein queda

$$v = c(1 - m/r),$$

pero como los tiempos medios medidos en relojes terrestres y solares deben estar en relación inversa con  $c$  y con  $v$ , tenemos

$T_{\text{tierra}}/T_{\text{sol}} = c/v$ , con lo que  $T_{\text{tierra}} = T_{\text{sol}} (1 + m/r)$  que es la misma ecuación que la obtenida por Einstein para la medición del periodo de los rayos solares respecto de los terrestres, que marchan más lentamente, ya que un átomo situado en el campo gravitatorio solar vibra con un periodo mayor que el mismo situado en el campo gravitatorio terrestre.

Para el cálculo de la curvatura de la luz, parte Maravall de la expresión anteriormente obtenida de  $v$  en función de  $c$  y  $r$ , que es

$$V^2 + 2 \frac{GM}{r} = c^2 \quad ..$$

Esta expresión indica, al ser siempre el segundo miembro positivo, un movimiento central hiperbólico. El ángulo que forman entre sí las dos asíntotas de la hipérbola sería el ángulo de la desviación del rayo luminoso por la acción del campo gravitatorio del Sol, que es función, a su vez, de la excentricidad (conocida de la mecánica celeste). Con las sustituciones adecuadas y aproximaciones de primer orden se llega a la expresión

$\alpha = 4MG/crv$ , que con los valores considerados da 1,75 sg, el mismo valor que el obtenido por Einstein.

Maravall realizó igualmente interesantes aportaciones en aplicaciones concretas de la relatividad general. Por ejemplo, en 1951 presentó un estudio de las soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein en elementos con simetría axial<sup>33</sup>. Sobre este aspecto, afirma Maravall que ha habido escasas aportaciones (pero no cita cuáles), ya que preferentemente se ha estudiado el caso de elementos lineales con simetría esférica, por ser éstos los más adecuados para aplicación en cosmología y en el campo gravitatorio solar. Calcula el elemento de línea con simetría axial en coordenadas cilíndricas, que debe ser de la forma

$$ds^2 = 2\alpha dr dt - e^\lambda dr^2 - e^\nu (r^2 d\varphi^2 + dz^2) + e^\mu dt^2$$

en donde  $\lambda$ ,  $\nu$ ,  $\mu$ ,  $\alpha$  son funciones de  $r$  y  $t$  cuando el elemento lineal es dinámico o bien sólo son funciones de  $r$  cuando es estático, es decir que los coeficientes de las diferenciales son independientes del tiempo.

Haciendo adecuados cambios de variables se simplifica la expresión del elemento de línea en coordenadas cilíndricas, quedando

$$ds^2 = -e^\lambda dr^2 - r^2 d\varphi^2 - e^\nu dz^2 + e^\mu dt^2$$

Por lo tanto, el problema consiste en aplicar a este elemento lineal las ecuaciones de campo dadas por  $T_j^i = R_j^i - \frac{1}{2} g_j^i R + \Lambda g_j^i$  (donde  $R$  es el escalar de curvatura,  $R_j^i$  las componentes del tensor de curvatura,  $T_j^i$  las componentes del tensor energía-momento y  $\Lambda$  la constante cosmológica, que él denomina constante cósmica).

Al realizar dichos cálculos obtiene los resultados para  $T_1^1$ ,  $T_2^2$ ,  $T_3^3$ ,  $T_4^4$  que los concreta para la hipótesis de que el metro patrón sea inalterable en posición vertical, lo que equivale a hacer  $\nu=0$ .

Realiza las integraciones de estas últimas ecuaciones de  $T_1^1$ ,  $T_2^2$ ,  $T_3^3$ ,  $T_4^4$  para tres supuestos, el caso de un fluido perfecto, el caso de partículas independientes, que lo aplica a las galaxias y el de ausencia de materia, es decir el vacío. Para el primer caso, el de los fluidos perfectos obtiene una solución de la forma  $\rho = A (e^r)^2$  que se corresponde con una distribución maxwelliana, es decir la densidad en una masa de fluido perfecto con simetría axial sigue una distribución maxwelliana. Calcula también

<sup>33</sup> "La estructura de los medios con simetría axial en la relatividad generalizada. Aplicación a las galaxias", *Rev. Mat. Hisp.*, 1951, p 277-287.



las ecuaciones de movimiento de las partículas libres en dicho medio, ecuaciones que implican el que los movimientos ejecutados por las moléculas del medio son armónicos en primera aproximación, con lo que las rotaciones tienen una velocidad angular constante.

Para el caso de las galaxias, considera nula la constante cosmológica, obteniendo que la densidad estelar, en primera aproximación, es de la forma  $\rho = e^{-r}/r$ .

En el marco de esta teoría se explicarían los siguientes hechos experimentales:

- Las galaxias tienen un movimiento de rotación en el que la velocidad angular de una estrella es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la distancia al eje.
- La densidad estelar es inversamente proporcional a la distancia al eje.
- La forma de las galaxias, que resultan espirales con un aplastamiento de los brazos de la espiral.

Para el tercer caso, el vacío, obtiene una expresión del potencial que determina el corrimiento del perihelio de Mercurio.

Otro ejemplo de aplicación concreta de la relatividad general que realiza Maravall es el cálculo del elemento lineal definido por la métrica no euclídea del espacio-tiempo en una masa de fluido barótrope con simetría esférica.<sup>34</sup> Schwarzschild resolvió las ecuaciones de campo relativistas, obteniendo también soluciones en el interior de un fluido homogéneo con simetría esférica. Ahora, en 1952, Maravall resuelve el mismo problema, pero para un fluido barótrope (es decir, en el que la densidad sólo depende de la presión, siendo la temperatura constante, por lo tanto no uniforme para presiones diferentes en el interior del fluido) cuando se conoce la ecuación característica del fluido y también, cuando, en vez de la ecuación característica, se conoce la ley de variación radial de la densidad.<sup>35</sup> El problema radica en aplicar las ecuaciones de campo de Einstein al elemento lineal con simetría esférica. Este desarrollo lo omite porque dice ya ha sido hecho por “los teóricos de la relatividad” (aunque no da referencias) y obtiene un sistema de ecuaciones diferenciales con la presión y densidad como incógnitas.

Maravall propone resolver el sistema de ecuaciones diferenciales para la presión y densidad, señalando que dichos cálculos ya sí son originales suyos. En el desarrollo considera una primera aproximación asociada a cuando la métrica difiere escasamente de la euclídea. Dicho desarrollo lo aplica a dos casos, el de materia animada de velocidades lentas (donde la presión es mucho menor que la densidad) y el de la radiación (donde la presión es de un orden de magnitud similar a la densidad).

---

<sup>34</sup> “La métrica no euclídea del espacio-tiempo en el interior de una masa de fluido barótrope con simetría esférica”, *Rev. Mat. Hisp.*, 1952, p. 138 a 150.

<sup>35</sup> En un fluido baroclino la densidad es función de la presión y de otros factores, como la humedad o la concentración salina. Así, en estos fluidos las superficies de igual densidad y de igual presión no coinciden, sino que están inclinadas unas respecto de las otras. En cambio en los fluidos barótropos la densidad y la presión están relacionadas por una ecuación característica de la forma  $F(\rho, p)=0$ .

De los resultados se obtiene que los relojes marchan más lentamente para un observador en el interior de la masa de fluido que para un observador externo, así como efectos de contracción radial de longitudes.

Una última aplicación concreta es su artículo de 1953 "Teoría relativista de la atracción de una esfera pulsátil o con spin. Aplicación a las cefeidas"<sup>36</sup>. Consiste en aplicar la solución general de las ecuaciones de campo, para un campo débil, al caso particular de una esfera hueca o maciza en dos supuestos: con espín (astros rotatorios) y en astros pulsátiles (las cefeidas).<sup>37</sup> El autor resume los resultados obtenidos por Chazy (*La Theorie de la Relativité et la Mécanique celeste*) en la solución de las ecuaciones de campo para campos débiles originados por n masas discretas o por una masa continua en movimiento, donde obtiene el elemento de línea y las ecuaciones aproximadas de movimiento de una masa infinitamente pequeña. Maravall aplica estos resultados al supuesto de una esfera en rotación (él la llama con espín) tanto para el caso de esfera hueca como maciza.

Para el caso de una esfera hueca obtiene unas ecuaciones de movimiento que se interpretan del siguiente modo: mientras en la mecánica clásica la acción de una esfera hueca con espín sobre un punto interior es nula, en la mecánica relativista le comunica un movimiento de rotación alrededor del eje con una velocidad angular dada por la expresión  $4\pi\omega/3c^2R$ . Maravall dice que estos resultados ya fueron obtenidos con anterioridad por Thirring (según cita de la obra de Chazy), pero sólo para el caso de un punto próximo al centro de la esfera. En cambio, la solución de Maravall es más general, siendo válida para cualquier punto en el interior de la esfera.

En el caso de una esfera maciza obtiene unas soluciones que ya fueron propuestas por De Sitter, pero las del físico holandés sólo eran válidas para puntos muy alejados de la esfera atractiva, en cambio las suyas son válidas para cualquier punto exterior. La aplicación de las ecuaciones propuestas conduce a la determinación de unas fuerzas correctivas respecto a la gravitación newtoniana. Obtiene Maravall que dicha fuerza correctiva es la combinación de tres fuerzas:

una perpendicular al eje de rotación en el sentido de la velocidad de valor absoluto

$$4\pi\omega\left(\frac{r^2}{R^3}-\frac{r^5}{R^6}+\frac{1}{R}\right)\sqrt{x'^2+y'^2},$$

una segunda perpendicular al plano meridiano del punto atraído, de valor absoluto

$$\left(\frac{2}{R^3}-\frac{5r^3}{R^6}\right)rr'\sqrt{x^2+y^2},$$

y una fuerza central de valor absoluto

$$\left(2R^3-\frac{5r^3}{R^6}\right)r.$$

<sup>36</sup> Rev. Mat. Hispanoamericana, vol 13, 1953, p. 153.

<sup>37</sup> Las cefeidas son estrellas variables, en luminosidad, en la nebulosa de Andrómeda. El término espín no se suele aplicar a los astros siendo más correcto el de astro rotatorio.

Una vez más Maravall afirma que “estos resultados, creo que no han sido obtenidos previamente por otros autores”

Para el caso de esferas pulsátiles, obtiene unas ecuaciones en las que las fuerzas correctivas respecto de la gravitación clásica son atractivas o repulsivas según la esfera esté en fase de expansión o contracción, aunque como son perturbaciones pequeñas siempre predominará el efecto atractivo. De las ecuaciones intermedias en que intervienen los coeficientes de la métrica espacio-temporal, los  $g_{ik}$ , se extrae una conclusión: en la física clásica hay una disimetría entre los fenómenos gravitatorios y los eléctricos, ya que las fuerzas gravitatorias son independientes del estado de movimiento de las masas, en cambio no ocurre así en las fuerzas eléctricas, ya que una masa cargada en reposo genera exclusivamente un campo eléctrico, en cambio si está en movimiento genera además un campo electromagnético, tal que el campo magnético es normal a la trayectoria pero no genera trabajo. Pues bien, de las ecuaciones obtenidas, en las que aparece un factor asociado a un campo del tipo

$\left( \frac{\partial g_{i4}}{\partial x_j} - \frac{\partial g_{j4}}{\partial x_i} \right) \frac{dx_j}{dt}$ , factor que puede expresarse de la forma  $\vec{H} \wedge \frac{d\vec{r}}{dt}$  <sup>(38)</sup>, siendo  $\vec{r}$  el

vector de posición y  $\vec{H}$  un vector cuyas componentes son

$$H_x = \frac{\partial g_{24}}{\partial z} - \frac{\partial g_{34}}{\partial y}; H_y = \frac{\partial g_{34}}{\partial x} - \frac{\partial g_{14}}{\partial z}; H_z = \frac{\partial g_{14}}{\partial y} - \frac{\partial g_{24}}{\partial x}, \text{ es decir las componentes del}$$

vector rotacional, con lo que  $\vec{H} = \text{rot } \vec{g}$ .

En definitiva “mientras las masas gravitacionales engendran en la mecánica clásica un campo gravitatorio estático [estén estáticas o en movimiento], en la mecánica relativista engendran también, [si están en movimiento], junto a este mismo campo estático, un campo normal a las trayectorias de las masas gravitacionales y que no produce trabajo”. En mi opinión, esta idea es muy interesante, ya que anuncia una de las bases de las ondas gravitacionales, aunque Maravall no parece asociar esta idea con las citadas ondas gravitatorias.

En 1955, Maravall presentó una teoría propia de intento de unificación de la gravitación y el electromagnetismo.<sup>39</sup> Primero realiza una nueva propuesta de geometría diferencial que, admitiendo la métrica riemanniana, plantea el espacio como dotado, además de curvatura, de torsión. El cálculo diferencial absoluto ligado a esta nueva geometría diferencial considera que la derivada covariante de un tensor es dependiente de la dirección en que se efectúa la diferenciación (al contrario del sistema de Levi Civita en el que dicha derivación sólo depende del punto del espacio en que se localiza el tensor). De esta forma, Maravall define una nueva operación, la derivada covariante de un tensor según una dirección. Para ello previamente también propone un nuevo postulado de desplazamiento paralelo que incluye como caso particular el de Levi Civita y las conexiones asimétricas de Cartan.

<sup>38</sup> La negrita indica vector.

<sup>39</sup> Maravall, “Ensayo de teoría unitaria de la gravitación y del electromagnetismo”. *Rev. Mat. Hispanoamericana*, vol XV, 1955, págs 88 a 114 y 165 a 181.

Aplicando esta nueva geometría diferencial a la geometrización de la teoría de campos, propone así una teoría unitaria de la gravitación y el electromagnetismo. Maravall demuestra que, si se aplica la derivación covariante dependiente de la dirección donde se efectúa, la ecuación de las geodésicas es de la forma

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} + \gamma_{jk}^i \frac{dx^j}{ds} \frac{dx^k}{ds} + a_j^i \frac{dx^j}{ds} = 0$$

donde los  $\gamma_{jk}^i$  son los símbolos de Christoffel de segunda especie.

Esta ecuación es la misma que para la relatividad general, salvo el factor  $a_j^i \frac{dx^j}{ds}$ , que es el responsable de dotar de torsión al espacio.

En la nueva teoría de Maravall, además de haber un tensor de curvatura (el mismo que el de la relatividad general) hay un tensor de torsión, que está relacionado con el campo electromagnético. Esta idea la introduce Maravall como hipótesis *ad hoc*, sin una justificación aparente, desde mi punto de vista. En mi opinión, aunque la introducción del tensor de torsión no es arbitraria como constructo teórico matemático, de la misma forma en que se construían geometrías diferentes de n-dimensiones sin considerar si tenían asociación en el espacio físico, no parece Maravall justificar suficientemente la asociación de la torsión del espacio con el campo electromagnético. Veamos cómo introduce la idea Maravall:

En el caso del tensor  $\alpha_j^i$  [se refiere al tensor que caracteriza la torsión del espacio] la nueva geometría diferencial aquí elaborada coincide con la de Riemann-LeviCivita. Por tanto si admitimos que  $\alpha_j^i$  está relacionado con el campo electromagnético, de modo que si aquél es nulo, éste lo será también, y recíprocamente, si éste lo es, aquél lo será también; entonces en el caso de fenómenos gravitatorios simplemente se obtienen los mismos resultados que en la teoría de la relatividad general.<sup>40</sup>

Previamente, la única referencia de Maravall a que el responsable de la torsión se asocie con el campo electromagnético es la siguiente frase, al referirse al factor adicional en la solución de las geodésicas,  $a_j^i dx^j/ds$

Si  $a_j^i$  ha de representar en las aplicaciones de la física de esta nueva geometría generalizada el campo electromagnético, ha de ser un tensor antisimétrico y, por tanto, el escalar  $a_j^j$  es nulo.<sup>41</sup>

En definitiva el factor  $a_j^i dx^j/ds$  en las líneas geodésicas se debe a las partículas cargadas, por lo que si denominamos  $f^i$  al vector potencial cuatridimensional electromagnético (que es la combinación del potencial vector y el potencial escalar de la teoría clásica del electromagnetismo) y consideramos  $F_{ij}$  el tensor antisimétrico

<sup>40</sup> *Ibidem*, p. 179.

<sup>41</sup> *Ibidem*, p. 93.

campo electromagnético, siendo  $e$  y  $m$  la carga y la masa respectivamente de la partícula en cuestión, tenemos que

$$F_{ij} = \frac{e}{m} \left( \frac{\partial f_i}{\partial x^j} - \frac{\partial f_j}{\partial x^i} \right), \text{ con lo que podemos establecer la relación } a_{ij} = \frac{e}{m} F_{ij} \text{ y tenemos}$$

la ecuación de las líneas geodésicas de las partículas eléctricas que se mueven bajo la acción de un campo gravitatorio y un campo electromagnético

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} + \gamma_{jk}^i \frac{dx^j}{ds} \frac{dx^k}{ds} + \frac{e}{m} F_{ij} \frac{dx^j}{ds} = 0$$

Tenemos, pues, que junto a las propiedades no euclídeas del espacio asociadas a su métrica, dadas por la curvatura y consecuencia de la interacción gravitatoria, hay otras propiedades, también no euclídeas, dadas por la torsión del espacio y consecuencia de la interacción electromagnética.

Es importante señalar, aunque no lo cita Maravall, que la idea de torsión en las ecuaciones de campo la introdujo el matemático francés Elie Cartan en 1922, planteando la necesidad de extender la relatividad general para que incluyera lo que se denomina como torsión afin, de esta forma la relatividad general se plantearía en una nueva geometría conocida como de Riemman-Cartan, que en su aplicación a la relatividad general viene como teoría de Einstein-Cartan.

En otro trabajo sobre mecánica analítica<sup>42</sup> realiza un caso concreto de aplicación a la mecánica relativista restringida que no reviste mayor interés en cuanto a novedad sobre el tema que nos interesa. En realidad es un estudio en el ámbito de la mecánica clásica, con aplicación de los métodos de integración de Lagrange, Hamilton y Jacobi, incluyendo el caso de los  $n$  cuerpos, con el supuesto de que la masa varíe con el tiempo, por ejemplo un cuerpo que vaya perdiendo masa.

Por otra parte, Maravall es autor de un excelente manual de cálculo vectorial y tensorial,<sup>43</sup> que incluye aplicaciones a la mecánica, mecánica analítica, espacios de Riemman y otros espacios no riemannianos con torsión, que él denomina “espacios de Maravall”. Destaca el capítulo denominado “los tensores en geometría afin”, por lo clarificador en su exposición en cuanto al estudio de la matemática necesaria para la relatividad general. De esta forma, expone didácticamente Maravall que un espacio métrico es aquél en el que un punto genérico viene definido por  $n$  coordenadas y en el que se puede definir una distancia entre dos puntos. En cambio, un espacio afin es un espacio de  $n$  dimensiones en el que las coordenadas diferentes vienen medidas en magnitudes incomparables entre sí y en él no se puede definir la distancia entre dos puntos. Una aplicación física de espacio afin es por ejemplo un diagrama termodinámico con tres ejes donde se representan las presiones, volúmenes y temperaturas. Por lo tanto, si se cambia de unidad en uno cualquiera de los ejes o si se toman ejes oblicuos en vez de ortogonales se deforman las curvas y superficies en este espacio. A pesar de esto existen algunas propiedades de dichas curvas o superficies que se mantienen invariantes en estas deformaciones. El estudio de estas

<sup>42</sup> “Sobre la dinámica de los sistemas de masa variable”, *Gaceta Matemática*, vol 8, 1956, pp 256-262.

<sup>43</sup> Maravall, *Mecánica y cálculo tensorial para ingenieros*, 2ª edición, ed Dossat, Madrid 1965.

propiedades es el objeto de la geometría afín. Evidentemente de esto se infiere la importancia de los espacios afines en la teoría de invariantes usada en relatividad.

Aunque no trata directamente temas de relatividad, en el estudio de las geodésicas destaca el autor la importancia de tales líneas:

...porque en su intento de explicar los fenómenos gravitatorios sólo, o estos mismos conjuntamente con los fenómenos electromagnéticos de manera unitaria, su objeto es la geometrización de la Física, en el sentido de que las trayectorias de los móviles coincidan con las geodésicas del espacio-tiempo, el  $ds$ , el cual a su vez depende de la presencia y distribución de la materia y de la electricidad en el espacio.<sup>44</sup>

Vemos en este texto la clara intención de unificación de campos por parte de Maravall, cuando el elemento de línea dice que también debe depender del campo eléctrico. De hecho, dedica un capítulo a los espacios riemannianos, de los cuales concreta un tipo que él mismo denomina “de Maravall”, el espacio con torsión, en el que repite, citándolo, partes iguales de su memoria de 1955 “Ensayo de una teoría unitaria de la gravitación y el electromagnetismo”.

Por último, me parece conveniente reflejar un artículo de Maravall publicado en 1966 con un título confuso, “Lógica relativista ( $L_r$ ). Aplicaciones a las redes eléctricas”<sup>45</sup>. En realidad no tiene nada que ver con relatividad, es un problema de terminología, a mi juicio equivocada. A pesar de esto, Maravall parece querer relacionarlo con la relatividad de una forma algo forzada, con la intención, parece, de promocionar sus anteriores trabajos sobre la teoría de la relatividad. Es un artículo sobre lógica en el que propone un nuevo sistema lógico que denomina relativista o antiintuicionista, en contraposición a la denominada lógica intuicionista. El motivo de llamarla así es porque la relaciona con el relativismo filosófico, ya que en la lógica relativista ( $L_r$ ) se suprime el principio de contradicción, que está implícito, según Maravall, en la cuantificación del espacio y el tiempo de su teoría de la discontinuidad de las variables físicas de la mecánica ondulatoria, que se ha explicado anteriormente. En mi opinión, igual que en los años veinte no tenía sentido asociar la relatividad con el relativismo filosófico, ahora tampoco lo tiene el asociar las teorías de cuantificación del espacio y el tiempo con dicha corriente filosófica.

Mi opinión anterior respecto a la intención de Maravall de divulgar sus trabajos anteriores sobre relatividad se sustenta en que en la bibliografía de este artículo anuncia que el tema de la discontinuidad de las variables físicas de la Mecánica ondulatoria y la cuantificación del espacio y el tiempo lo ha tratado en varias publicaciones entre 1950 y 1953, en las que se señala la aparición de la constante de Planck en los fenómenos cosmológicos, como consecuencia de la fusión de la relatividad y la física cuántica. Sobre estos trabajos, el resumen que hace aquí Maravall, es el siguiente:

<sup>44</sup> *Ibidem*, , p. 421.

<sup>45</sup> Maravall, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 60, 1966, p 309-328.

Al igual que en la relatividad restringida para observadores en reposo o en movimiento es distinta la fenomenología, o en la relatividad general sucede esto último para observadores situados en campos gravitatorios de intensidad distinta, resulta que en virtud de la cuantificación del espacio y del tiempo, éste es visto de distinta manera por el electrón que por el protón, por ejemplo. Existen tantas geometrías naturales como masas; al igual que cada personaje de Pirandello tiene su verdad, cada corpúsculo de distinta naturaleza tiene su geometría natural. Con ello se da un paso más en el proceso de relativización de la filosofía y de la ciencia.<sup>46</sup>

Como conclusión, creo que a Maravall hay que concederle el mérito de haber realizado intentos, más o menos sólidos, de aportar ideas originales en el campo de la física relativista.

---

<sup>46</sup> Maravall, "Lógica relativista (Lr). Aplicaciones a las redes", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, 1966, p. 328.

#### 4.7. OTROS POSICIONAMIENTOS ANTIRRELATIVISTAS O AMBIGUOS.

En España, la mayoría de las opiniones antirrelativistas o posturas ambiguas, que cumplían con un mínimo de rigor en cuanto a tratamiento matemático, estaban influenciadas por el pensamiento de Palacios al respecto, como se va a ver a continuación. Algunas, fuera del ámbito de influencia de Palacios, ya se reflejaron en los años cuarenta, como los casos de Felix Apraiz, Rafael de Valdivia, Ignacio Puig o Enrique Gutiérrez.

El caso más interesante es el de este último, ingeniero del ICAI, que más que antirrelativista hay que contemplarlo inicialmente como ambiguo, para luego aceptar la relatividad gracias al descubrimiento experimental del positrón. Recordemos que Enrique Gutiérrez hizo una exposición brillante sobre la teoría cuántico-relativista de Dirac. De hecho, al contrario de lo ocurrido por ejemplo con Felix Apraiz, se aproximó al problema con un mínimo de rigor.

En un artículo de 1943, Gutiérrez parece mostrarse dudoso sobre la validez de la relatividad especial, ya que, refiriéndose a la teoría de Dirac, plantea algunas “dificultades con que tropiezan algunos conceptos relativistas para introducirse por completo en la nueva mecánica ondulatoria”.<sup>1</sup>

Como ejemplo de sus dudas, que se reflejan en una interpretación sobre la supuesta simetría entre el espacio y el tiempo en la teoría einsteniana, cita el discurso de Enrique de Rafael con motivo de su ingreso en la Academia de Ciencias madrileña, afirmando que De Rafael, “refuta también el intento de fundir el espacio y el tiempo en una entidad de orden superior”. Recordemos que Palacios ya malinterpretó las palabras de De Rafael, quien precisamente criticó este tipo de interpretaciones.

Las siguientes palabras del ingeniero Gutiérrez son elocuentes sobre sus dudas:

A nuestro juicio, creemos que fue perjudicial el excesivo y rápido éxito de la mecánica de Einstein, pues si bien es cierto que consiguió explicar muchos fenómenos, obligando a revisar todos los cimientos de la mecánica antigua, sirvió este rotundo e innegable éxito para que se desarrollasen rápidamente una serie de conceptos falsos o incomprensibles, o en todo caso, si se quiere, innecesarios y peligrosos.

Por esto, no hemos de ocultarlo, nos agrada observar las dificultades con que tropiezan profesores y hombres de ciencia de tanta valía como De Broglie, Schrödinger y Dirac para introducir en la nueva mecánica algunos conceptos relativistas como, por ejemplo, la simetría entre el espacio y el tiempo.

Y este esfuerzo es tanto más digno de señalarse cuanto que los fundadores de la nueva mecánica introdujeron en sus ecuaciones principales la condición de que fuesen invariantes para todas las transformaciones de Lorentz, es decir, que satisficiesen el principio de

---

<sup>1</sup> Enrique Gutiérrez, “La teoría de Dirac en la nueva mecánica ondulatoria”, *Anales de Mecánica y Electricidad. Revista de los ingenieros del ICAI*, v 20, nº 166, May-Jun.1943, p133-141; v 20, nº 167, Jul-Ago. 1943, p 218-223.



relatividad. Esto nos confirma que no debe decirse que es ridículo e infantil hablar de un tiempo absoluto, sino que únicamente hasta ahora no conocemos un medio de medirlo. Igualmente creemos que si el espacio absoluto definido por Newton no nos sirve en mecánica, ello se debe únicamente a que no conocemos debidamente la naturaleza y propiedades de los agentes utilizables para señalar la posición real de los objetos, pero por ello no debemos decir que no exista. Nosotros preferimos dudar si no existirá otra explicación, por ejemplo del fenómeno de Michelson, que admitir ciertas consecuencias relativistas. Entiéndase que no pretendemos atacar la mecánica relativista sino únicamente las interpretaciones que se suelen dar a muchas de sus consecuencias.<sup>2</sup>

Aun con todo lo anterior, Gutiérrez demuestra un excelente conocimiento de la física relativista y la mecánica cuántica, al demostrar deductivamente, siguiendo todos los pasos matemáticos, (lo que es ciertamente complejo) la ecuación de Dirac que resulta de aplicar las ecuaciones de propagación relativista (donde se considera la energía definida por la teoría especial de la relatividad) a las funciones de onda del electrón, y que cumple con la condición de ser invariante Lorentz.

Las dificultades a que se refiere Gutiérrez son las siguientes:

- Se obtienen ondas de energía negativa que implicarían estados de energía negativa en el átomo, lo que se intentó interpretar de diferentes formas sin éxito (Aquí Gutiérrez todavía no conoce la confirmación experimental de la existencia del positrón )
- la variable tiempo parece que no cumple con las condiciones de simetría establecidas por la relatividad, al jugar un papel diferente ya que los operadores definidos en la teoría de Dirac ya no se definen sobre cuadvectores, siendo el tiempo una coordenada más. El motivo es que los operadores usados en mecánica cuántica, así como los autovalores y funciones propias, deben cumplir una condición, denominada de hermiticidad, que se define sólo sobre las tres coordenadas del espacio. En definitiva el tiempo sería un parámetro y jugaría un papel similar al del universo tridimensional de la mecánica clásica.

Gutiérrez no conoce el descubrimiento del positrón, pero se informa, y al año siguiente publica un artículo donde da cuenta de dicho descubrimiento. Por el tono y la argumentación usada, se ve que Gutiérrez rectifica, aunque sin decirlo expresamente, las dudas anteriormente indicadas respecto a la validez de la relatividad en la mecánica cuántica.<sup>3</sup>

Después de explicar en detalle dicho descubrimiento, lo que hemos visto anteriormente en el apartado 4.3.1, Gutiérrez no vuelve a comentar aquí la otra dificultad planteada en la aplicación de la relatividad a la física cuántica, la asociada al

---

<sup>2</sup> Enrique Gutiérrez, "La teoría de Dirac en la nueva mecánica ondulatoria", *Anales de Mecánica y Electricidad. Revista de los ingenieros del ICAI*, v 20, nº 166, Mayo-Junio 1943, p. 136 y 137.

<sup>3</sup> Enrique Gutiérrez, "Los positrones y los estados de energía negativa de la teoría de Dirac", *Anales de Mecánica y Electricidad. Revista de los ingenieros del ICAI*, v 21, nº 174, Septiembre-Octubre 1944, p 249-259.

tiempo como coordenada privilegiada, con lo que ahora no parece tener dudas de la validez de la relatividad. Especialmente se muestra defensor ahora, al explicar los experimentos de Schaefer, Neumann y Bucherer que ratificaban la validez de la función asociada a la variación de la masa o factor de inercia con la velocidad, es decir  $m=m_0(1-v^2/c^2)^{-1/2}$ , señalando que

... al extender o suponer válida esta función para todos los cuerpos materiales, se ha fortalecido una de las más importantes leyes o consecuencias de la teoría de la relatividad, la de que existe un límite superior para la velocidad de todo cuerpo material, que es la velocidad de la luz.<sup>4</sup>

Otro de nuestros personajes citados anteriormente, el también ingeniero Felix Apraiz, antirrelativista sin mostrar dudas al respecto, ya en los años 20 logró publicar un libro en Francia de significativo título, *L'éther existe et les phénomènes électromagnétiques sont purement mécaniques: une réponse aux interprétations erronées du principe de relativité* (Gauthier Villars, Paris, 1927), y otro en España, *Sobre una posible explicación mecánica de la electricidad* (Madrid, 1929). El título del folleto que publicara en 1945 es también significativo: *Las seis dimensiones del espacio físico. Errores de la física actual y naturaleza de la electricidad y el éter* (Las Palmas de Gran Canaria, 1945).

Realmente las ideas expuestas por Apraiz son muy heterodoxas, no sólo en cuanto a la física relativista sino también clásica, tanto de mecánica como de electromagnetismo. Por ejemplo, al plantear en las ecuaciones del electromagnetismo el valor de una supuesta masa eléctrica en vez de la carga. Señala algunas cuestiones que parecen erróneas, como la ley de gravitación de Newton cuando la distancia tiende a cero que haría la fuerza infinita. Para solventar este problema, plantea una nueva ley que en el límite de distancias normales es la de Newton, para así solventar la singularidad. Algo similar realiza para la ley de Coulomb. Al plantear las ecuaciones del electromagnetismo, denuncia el intento de unificación de la relatividad, bajo el epígrafe “el error relativista”:

El error relativista está en la enunciación de un teorema que promete lo que luego no da. En efecto, Einstein redujo las cuatro ecuaciones [de Maxwell] aludidas en el párrafo anterior a tres en su famoso “Teorema de la Relatividad” que dice así: “Todas las leyes electromagnéticas se expresan por relaciones invariantes tensoriales en un espacio de cuatro dimensiones, una de las cuales es  $t\sqrt{-1}$ ”. Mas ni los entes matemáticos que formó son invariantes (sino covariantes) ni en sus relaciones están comprendidas todas las leyes eléctricas porque forman un sistema indeterminado.

---

<sup>4</sup> Enrique Gutiérrez, *Ibidem*, p. 251.

Es por lo que el teorema no ha aportado consecuencias de orden físico, ya que aquellos entes no tienen este sentido, sino el puramente matemático.<sup>5</sup>

Plantea Apraiz que los fenómenos electromagnéticos se dan en un espacio de más de tres dimensiones, por ejemplo la energía del vector radiante de Poynting debe estar fuera de las tres dimensiones en las que se define el campo electromagnético, ya que el vector unitario del radiante debe ser normal a  $E$  y  $H$ , luego debe estar dirigido fuera del espacio. De forma similar, con un cierto ejercicio de acrobacia intelectual, plantea el problema del electromagnetismo como una rotación en seis dimensiones. En el prólogo dice que ya planteó todo esto como una hipótesis hace veinte años y que la academia de Ciencias le objetó que era una idea puramente intuitiva sin demostración. Ahora dice que lo demuestra matemáticamente, pero del seguimiento del texto podemos comprobar que no hay tales deducciones matemáticas.

Apraiz considera que igual que puede haber una geometría de  $n$ -dimensiones, puede haber una mecánica de las mismas dimensiones. Para él, las leyes y fenómenos electromagnéticos son las leyes y fenómenos mecánicos del movimiento de rotación de un medio que llenase el espacio vacío. De esta forma, el movimiento de la electricidad en el espacio es el magnetismo, que no tiene por otra parte ninguna diferencia específica con la electricidad. Plantea el éter como el espacio vacío en el que se dan las rotaciones y que producen los efectos electromagnéticos.

En definitiva, es un intento de visión mecanicista de la electricidad y el magnetismo, pero en sí, esta obra no es antirrelativista como tal, sino que, salvo una breve referencia, elude la teoría de Einstein. En realidad su postura habría que catalogarla como de “anticiencia establecida”, ya que desaprueba la física newtoniana y el electromagnetismo de Maxwell. Por ejemplo en gravedad obtiene una ley más general que la de Newton que tiende a ésta en condiciones normales.

Apraiz publicó igualmente en la revista *Ibérica* dos escritos en los que ponía en duda la teoría del aumento de la masa con la velocidad.<sup>6</sup> Se basa en que lo que se pudo medir en el experimento de Kaufman, que validaba el posible aumento de la masa, era en realidad el cociente entre la carga eléctrica y la masa del electrón, que disminuye con la velocidad, por lo que si se considera la carga constante, entonces la masa debe aumentar. Apraiz plantea que la carga eléctrica podría no mantenerse constante, basándose en que, igual que el campo magnético generado por un electrón en movimiento varía con la velocidad, de tal forma que tendríamos, en su propia denominación, una cantidad de movimiento magnético, podemos asignar al electrón una cantidad de movimiento eléctrico que sería variable. De hecho, opina Apraiz, la carga debe variar por el fenómeno de inducción y además en razón inversa a su velocidad, ya que el campo magnético creado por la velocidad de la carga crea a su

---

<sup>5</sup> Felix Apraiz, *Las seis dimensiones del espacio físico. Errores de la física actual y naturaleza de la electricidad y el éter*, Tipográficas Falange, Las Palmas de Gran Canaria, 1945.

<sup>6</sup> Felix Apraiz, “El aumento de la masa con la velocidad ¿es un hecho probado?” *Ibérica*, Nº 118, Agosto 1947, p 95-96; Felix Apraiz, “Es la carga eléctrica la que varía con la velocidad (una probable confusión)”, *Ibérica*, Nº 170, p 261, Octubre 1949, p 261-263.

vez una fuerza electromotriz que, por inducción, se opone al campo propio del electrón, “deselectrizándolo”, por lo que la carga debe estar en razón inversa de su velocidad. Desde mi punto de vista el problema del razonamiento de Apraiz es que no realiza ningún tratamiento matemático de su teoría, con el que se puedan predecir resultados y exponerlos al árbitro del experimento, que tampoco propone.

En el segundo artículo, anuncia una anécdota pasada curiosa sobre Einstein, con quien afirma mantuvo correspondencia “en tiempos pasados para rebatir su *Teorema de Relatividad*” pero a la que no contestó el sabio alemán (no me extraña, por cierto), pero sí Weyl, aunque también eludía la cuestión (refiere Apraiz que apareció copia del escrito de Weyl en *Metalurgia y Electricidad* en 1947). Además, Apraiz se muestra algo despectivo con los científicos teóricos por estar alejados de la técnica, al insertar frases como “No en vano los industriales, que a veces ven más claro que los científicos”<sup>7</sup> ó “el caso que nos ocupa, es mucho más complicado, y no es de extrañar que físicos puros alejados de la técnica, como Einstein, lo desconozcan”.<sup>8</sup>

Para Apraiz la clave está en su propia teoría mecanicista de la electricidad y el magnetismo, por la cual define la masa como

..un número, factor de acoplamiento de las partes que componen el cuerpo, y dependiente tan sólo de la posición relativa de dichas partes (...)

La masa es, pues, un invariante numérico, atributo de la extensión, y no depende de la velocidad, lo mismo que un número es independiente de su *variación*.<sup>9</sup>

Aun con todo, hay que reconocerle a Apraiz valentía e imaginación, adelantándose muchos años, aunque desde una perspectiva errónea a mi juicio, al futuro debate sobre la invariancia relativista de la masa, aspecto sobre el que volveremos con el análisis de las contribuciones de Santaló, estas sí hechas con rigor físico y matemático.

Otro caso de posicionamiento contrario a la relatividad es el de Rafael de Valdivia, que plantea que más que una revolución, la relatividad es una culminación o generalización afortunada de la física clásica. Aun así considera que contiene algunas contradicciones, como el hecho de la pensatez de la luz, lo que implica que pueda ser constante (habla en términos de pensatez como fuerza de gravedad, no como curvatura del espacio-tiempo, por lo que se ve que no ha entendido la relatividad). Considera que la curvatura de la luz se debe más bien a un efecto de refracción, dando por hecho que el sol tiene atmósfera, debe ser muy extensa y unas características especiales que son la causa de dicha refracción, lo que explicaría la curvatura de la luz.<sup>10</sup>

Un ejemplo de posicionamiento ambiguo es el de Ignacio Puig, del que ya vimos, al tratar los aspectos cosmológicos, que manifestó su desacuerdo con el modelo de

<sup>7</sup> Apraiz, *Ibérica*, nº 118, Agosto 1946, p 96.

<sup>8</sup> Apraiz, *Ibérica*, nº 170, Octubre 1949, p 262.

<sup>9</sup> Apraiz, *Ibérica*, nº 170, Octubre 1949, p 263.

expansión del Universo. Esta idea, en principio, no tiene por qué considerarse como antirrelativista, pero en cambio, Puig planteaba dudas sobre la curvatura del espacio. En realidad, a Puig no cabe enmarcarlo en el grupo de los antirrelativistas claros, como Apraiz, sino más bien entre los posicionamientos dudosos.

En línea con lo indicado anteriormente sobre la influencia de Palacios en determinadas corrientes antirrelativistas o ambiguas está el ejemplo de Leonardo Villena, quien realizó en *Physicalia* una reflexión en torno al artículo de Palacios “Rehabilitación de Newton” aparecido en el número anterior de la misma revista<sup>11</sup>. Villena indica que dicho artículo de Palacios invita a reflexionar sobre el origen histórico de la teoría relativista, poniendo en duda la prioridad de Einstein. También se hace eco de la polémica iniciada por Dingle en 1956 sobre la paradoja de los relojes, apuntando, aunque ciertamente de forma ambigua, que la solución podría estar en las nuevas ecuaciones de transformación de Palacios que mantienen la covariancia de las ecuaciones de Maxwell, pero salvan las “contradicciones” de la relatividad einsteniana, permitiendo seguir hablando de espacio y tiempo absolutos.

Villena indica que la teoría de Palacios también da cuenta de los hechos experimentales a favor, en principio, de la relatividad general, pero que deben ser los hechos experimentales asociados a las nuevas exploraciones cósmicas los que indiquen la necesidad de sustituir la relatividad por otra teoría más completa o sencilla.

Aunque Villena, como se ha indicado, se muestra ambiguo, hay algunas frases que denotan un claro posicionamiento favorable a Palacios, incluso con frases muy parecidas a las utilizadas por éste último. Después de exponer la propuesta de Minkowski sobre el universo tetradimensional afirma:

Los artículos y libros sobre relatividad aparecidos desde entonces han sido extraordinariamente numerosos. Muy pocos fueron los oponentes a esta teoría deslumbrante, aunque muchos los que no la entendieron. Pero las confirmaciones experimentales y la brillantez matemática hicieron que precursores y oponentes fueran olvidados, y que la figura y la obra de Einstein tomara caracteres míticos.

Respecto a opiniones contrarias a la relatividad, como la del físico italiano Majorana, concluye Villena que

Sin embargo, estas opiniones se perdieron entre el coro numeroso de los que seguían manipulando la relatividad y obteniendo éxitos con ella. Por ello parecía de buen tono no ponerla en duda y ningún editor científico consideraría interesante un artículo que tal dijera.

y sobre la polémica de la paradoja de los relojes afirma

Aunque han sido muchos los que han intervenido en esta polémica, que aún persiste, no se puede afirmar que ha salido una conclusión positiva

---

<sup>10</sup> Rafael de Valdivia, “Algunas dificultades en la teoría de la relatividad”, *Ibérica*, Nº 123, 1947 v II, p 264-268.

<sup>11</sup> Leonardo Villena, “Sobre la relatividad”, *Physicalia*, nº 37, Marzo 1960, p 3-8.

o negativa, sino simplemente que ya se admite la posibilidad de tener que retocarla o rehacerla.<sup>12</sup>

Otro ejemplo es el de Díaz Bejarano, que en 1960 intentó una explicación de los resultados del experimento de Trouton y Noble desde los principios de la teoría de la relatividad de Palacios<sup>13</sup>. Como el autor indica en los agradecimientos, este trabajo fue dirigido por el propio Palacios, por lo que no es para sorprenderse el que defendiera su teoría. En principio parece que consigue explicar su idea propuesta, con lo que le da validez a la nueva teoría de su mentor. Pero hay que indicar que el propio Bejarano da muestras de prudencia y ambigüedad, al defender que una explicación a este hecho se basa en la covarianza de las ecuaciones del electromagnetismo de Maxwell, covarianza que, insiste en destacar, se mantiene tanto con las transformaciones de Lorentz como con las de Palacios.

Los intentos de medir la velocidad de un laboratorio terrestre respecto al espacio absoluto basándose en experimentos realizados en el mismo fueron básicamente de dos tipos: el de Michelson y Morley (detección de franjas de interferencia de dos rayos reflejados en un interferómetro) y el de Trouton y Noble. Este último experimento consistía en medir el efecto que se produce sobre un condensador cargado en movimiento, que por la teoría electromagnética deberá implicar que dicho condensador se vea sometido a un par. Fue Fitzgerald quien en 1900 planteó la posibilidad de observar el momento dinámico que actuaría sobre el condensador.

En 1904 Lorentz explicó el resultado negativo del experimento de Trouton y Noble mediante la transformación relativista de las fuerzas. Pero Bejarano indica que igualmente se explica por la teoría de Palacios y ello es debido a que tanto las ecuaciones de Maxwell como las de las fuerzas se conservan con ambas transformaciones.

Otro discípulo de Palacios fue Jesús Biel, que en los años sesenta del siglo anterior pertenecía al *Instituto de Ciencias Físicas* de la Universidad de Madrid. Biel estudió las implicaciones de nuevas transformaciones entre sistemas inerciales, transformaciones que en definitiva eran equivalentes a las de Palacios. Este trabajo lo reflejó Biel en dos artículos aparecidos en *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.* en 1965<sup>14</sup> aunque en realidad los había escrito entre 1961 y 1962. De todas formas, en justicia, hay que decir que en esos años Biel, como discípulo de Palacios, era de alguna manera lógico que trabajara en la dirección indicada por su mentor, es decir en su línea de trabajo antirrelativista. En cambio, posteriormente, ya hemos visto que en 1966 trabajó en el ámbito de la mecánica cuántica relativista, en concreto sobre la analogía entre las transformaciones de Lorentz y las de Foldy-Wouthusen. Además, en comunicación privada, Biel ha reconocido que la teoría de la relatividad está completamente

<sup>12</sup> L. Villena, *Ibidem*, 1960, p 3-8.

<sup>13</sup> Díaz Bejarano, "El experimento de Trouton y Noble en la teoría de la relatividad de Palacios", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 56(A), 1960, p 225-236.

<sup>14</sup> Biel, J, "Sobre un transformación entre sistemas inerciales" *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 61(A), 1965, p 293-304; "Algunas conclusiones de las transformaciones naturales" *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 61(A), 1965, p 305-310.

asentada, siendo concluyentes además las corroboraciones experimentales, y que la dirección de los trabajos de Palacios era errónea<sup>15</sup>. Por lo tanto, sería incorrecto clasificar a Biel como antirrelativista, pero en aras del rigor histórico, creo necesario reflejar su contribución sobre el problema de las transformaciones entre sistemas inerciales, que habría que contemplarla como un caso de ambigüedad, más que de antirrelativista.

En el primer trabajo de Biel, "Sobre un transformación entre sistemas inerciales" (realizado en 1961 bajo la dirección de Palacios, como el mismo autor indica al final del artículo) el objeto es presentar un grupo de transformaciones no relativistas entre sistemas inerciales, y mostrar algunas implicaciones sobre la dinámica. Para lograr este grupo se basa en una serie de postulados que mantienen el tiempo absoluto y la contracción de los cuerpos en movimiento. Obtiene la misma ecuación de la dinámica que en relatividad restringida, pero en interpretación no coincide con la relativista. Con dichos postulados las ecuaciones de transformación obtenidas son en realidad equivalentes a las de Palacios

$$x = \alpha x' + v y'$$

$$y = \alpha y'$$

$$z = \alpha z'$$

$$t = t'$$

Desarrolla dichas transformaciones para velocidades, aceleraciones y entre sistemas inerciales cualesquiera. En la deducción de la fórmula fundamental de la Dinámica, considera que la energía de cualquier clase tiene una cierta inercia dada por  $m = E/c^2$ , que aunque ha sido deducida por Poincaré, Lorentz, Einstein y Planck, para distintas clases de energía, Biel sigue el razonamiento al respecto empleado por Lewis y Tolman en 1909. Aunque se obtienen los mismos resultados que en relatividad, el autor insiste en que se basan en postulados no relativistas.

En el segundo trabajo, "Algunas conclusiones de las transformaciones naturales" (también aparecido en 1965 pero, según se informa en el mismo texto dirigido por Palacios en 1961, incluso las referencias dadas son de Palacios) denomina Biel a las transformaciones del trabajo anterior "transformaciones naturales" por conservar el tiempo natural absoluto. Aplica estas transformaciones para deducir conclusiones relativas a la aberración de la luz, el efecto Doppler y la reflexión de la luz en espejos móviles, conclusiones asociadas a hechos inexplicables con la teoría clásica de Galileo y que se pensaba sólo se explicaban con la teoría de la relatividad.

Partiendo de dichas ecuaciones obtiene la expresión de la aberración de la luz

$$\tan \beta = \frac{\alpha \sin \beta'}{\cos \beta' + \frac{v}{c}}, \text{ expresión que coincide con la relativista.}$$

También se obtiene la frecuencia asociada al efecto Doppler  $\nu = \nu'_0 / (1 + v/c \cos \theta)$ , donde se explica el corrimiento hacia el rojo como un cambio real de la frecuencia de

---

<sup>15</sup> Información privada que me ha proporcionado Don Jesús Biel y por la que le estoy muy agradecido.

la luz emitida debido, a su vez, a la energía emitida por los átomos al ser acelerados. Igualmente, para la reflexión en un espejo móvil obtiene los mismos resultados que en el caso relativista.

Biel no se posiciona realmente contra la relatividad, sino que procura constatar la consistencia lógica de las transformaciones de Palacios, como una alternativa instrumentalmente válida.

Fuera ya del ambiente académico de los físicos especializados, hay que citar también las denuncias antirrelativistas de Casares Roldán (catedrático de Física y Química de Bachillerato). Publicó dos libros, *Refutación de los fundamentos de la Relatividad* (Imprenta Urania, Granada, 1952) y *Hacia una nueva Física. La Energía Cinética y el Movimiento* (Imprenta Urania, Granada, 1953), este segundo más bien un libro de divulgación.

El primer trabajo citado se corresponde con un ciclo de conferencias que impartió en un Instituto de enseñanza media de Jaén, donde refiere, en sus propias palabras, “los trabajos de investigación que hace años emprendí en el campo de la Física”. Expone con todo detalle el experimento de Michelson-Morley y las diversas interpretaciones del mismo, entre las que él defiende que la conclusión correcta no puede ser el principio de relatividad de Einstein, sino el que la luz de los focos terrestres no presenta el fenómeno de la aberración, fenómeno que sí se da en la luz de las estrellas. La explicación la proporciona basándose en el concepto de punto solidario de un sistema material en movimiento, de tal forma que en las estrellas la luz se independiza del foco emisor tan rápidamente que su velocidad es constante, pero en la Tierra la luz empleada es solidaria de ella al no abandonar su campo de fuerzas. De hecho, según Casares, una explicación del experimento de Michelson que no suponga admitir el principio de relatividad, la da en cierto modo el propio Einstein, al resucitar la teoría de la emisión para explicar el efecto fotoeléctrico. Con la teoría de la diferencia de la naturaleza de la aberración según el foco sea terrestre o estelar realiza un cálculo detallado de los caminos seguidos por los rayos luminosos en el interferómetro, concluyendo que no hay corrimiento de las franjas de interferencia, también para el caso de un giro de 90 grados. Analiza los casos de las diferentes hipótesis posibles, como posibles arrastres del medio, movimiento de la fuente, posible arrastre de la luz bien por la fuente emisora, o por el medio (incluso por los dos), así como los efectos tanto de la isotropía del medio como de la anisotropía.

También trata las transformaciones de Lorentz, que aun suponiendo ciertas, según Casares, Einstein ha interpretado libremente para eliminar la simultaneidad. Ante el ejemplo clásico de un rayo de luz emitido desde el centro de una hipotética habitación en movimiento, que hace que para un observador en la habitación se iluminen las dos paredes a la vez, pero para otro observador externo se iluminará antes una que otra, Casares afirma que Einstein confunde el concepto de lo que verá el observador exterior, con lo que deducirá por el cálculo según las transformaciones. No es posible ver un rayo de luz, por lo tanto el observador externo verá las paredes no cuando el rayo llegue a la pared, sino cuando la luz reflejada por ésta llegue a sus ojos, que llegará también simultáneamente porque se compensan las distancias. Si en las paredes se colocan dos relojes sincronizados, al ser iluminados por la señal,



simultáneamente según el observador, el externo verá la indicación precisa del instante en que fueron alcanzados, en definitiva se mantiene el concepto de simultaneidad absoluta.

Casares plantea que la demostración de las fórmulas de Lorentz parte de la constancia de la velocidad de la luz, por lo que no es una demostración consistente. Postula unas nuevas ecuaciones, en las que la velocidad de la luz sea un invariante y además se respete el carácter absoluto del espacio y el tiempo. Para ello parte del concepto de velocidad como algo realmente relativo, porque es una relación entre dos números que miden dos magnitudes (espacio y tiempo) de naturaleza diferente, lo que implica que hay que usar un módulo de medida para los espacios y otro para los tiempos, que es ajustable para que tengan un valor numérico determinado, según las unidades usadas.

Obtiene Casares unas transformaciones, similares a las de Lorentz, pero que son función de los “módulos” del espacio y del tiempo. Para el caso particular del módulo del espacio igual a 1 se respeta el carácter absoluto del espacio y el tiempo es relativo, pero si el módulo del tiempo es 1 entonces el tiempo es absoluto y el espacio relativo.<sup>16</sup> Sus transformaciones son un caso general de las de Lorentz cuando los módulos usados en ambos sistemas de referencia son iguales. Pero de esto no se deduce que las transformaciones de Lorentz tengan significación física en cuanto a la relatividad del tiempo y el espacio. En definitiva

Rechazando ese postulado, [se refiere al de la constancia de la velocidad de la luz] y reducidas las fórmulas de Lorentz a un cambio de unidades de medida, los fundamentos de la Relatividad desaparecen, y el grandioso edificio matemático que sobre ellos levantó Einstein queda en el aire. Hay que volver a los clásicos conceptos de espacio y tiempo absolutos, lo que no quiere decir que haya que volver a la vieja Física silenciando deliberadamente las conquistas recientes. Pero entre un espíritu conservador a ultranza, del que sólo cabe esperar un retraso en el progreso, y un espíritu revolucionario por sistema, del que son muy de temer los malabarismos científicos, cabe holgadamente un espíritu ecuánime que por igual revise las viejas teorías y las modernas sin dejarse llevar por la negación sistemática ni por el aplauso incondicional.<sup>17</sup>

Ya en el prólogo de la obra de 1953, Casares avisa para que “en nombre de un intransigente dogmatismo” no le condenen sin leerle por “el grave delito de discrepar de las opiniones de la ciencia oficial”.

Realiza Casares un interesante repaso histórico de las ideas de materia, hasta el descubrimiento del electrón, el núcleo atómico etc, también de la energía, hasta llegar a la “identidad formal entre la energía y la materia y la relación numérica que existe entre ellas”. Sobre la relatividad afirma que la refutará porque se basa en una “relatividad inadmisibles para el espacio y el tiempo”. En cualquier caso, realiza una interesante reflexión en clave instrumentalista sobre la euclideanidad del espacio y las  $n$

<sup>16</sup> Casares Roldán, *Refutación de los fundamentos de la relatividad*, Granada, 1952, pag 27 a 32.

<sup>17</sup> Casares Roldán, *Ibidem*, p. 38.

posibles dimensiones, al afirmar que la física sólo puede operar con lo que podemos percibir, por lo que no tiene sentido plantearse si hay más de tres dimensiones o si el espacio es euclídeo o no. Cuestiones de índole filosófica le llevan a Casares a pensar en un espacio isótropo y absoluto, en el fondo porque cree en un espacio metafísico. Para Casares, espacio y tiempo son irreductibles entre sí, igual que espacio y energía lo son entre sí, lo que le lleva a rechazar que la materia-energía impliquen las propiedades físicas del espacio. En cuanto a la consideración de *ct* como cuarta coordenada, lo considera como matemáticamente correcto pero no filosóficamente, por lo que carece de sentido físico.

También hay una índole de tipo religioso en Casares para rechazar la conexión entre espacio-tiempo-energía cuando afirma que

La vida del Universo es la evolución de un contenido –la energía– en el espacio y el tiempo, y el deseo de unidad de la ciencia se estrella ante esa trinidad: espacio, tiempo, energía, de la que resulta la armonía y la belleza del mundo físico. Para ir más allá hay que ceder la palabra al filósofo y en último extremo al teólogo, ya que sólo podría buscarse una unidad superior en la esencia íntima de esos tres entes, y esa esencia sólo puede conocerla Dios, que es la Unidad Absoluta y la Belleza Suprema.<sup>18</sup>

Al realizar el repaso a la historia del establecimiento de los diferentes tipos de energía y llegar a la nuclear, Casares explica cómo la relación entre masa-energía (mediante la expresión  $E=mc^2$ ) justificaba el hecho encontrado por los físicos de falta de energía en el espectro de emisión de los electrones del núcleo radiactivo (radiación  $\beta$ ), lo que implicaba la necesidad de postular que la emisión de un electrón debería ir acompañada de una partícula no cargada y de masa muy pequeña, a la que se denominó neutrino. Pero a continuación, Casares afirma que la existencia del neutrino no está debidamente justificada, para él precisamente por ser inadmisibile la ecuación anterior, “afortunadamente no tuvo gran aceptación entre los físicos ya que, mediante él (el neutrino) no se llega a una interpretación clara de los hechos”<sup>19</sup>. Frente a esta hipótesis, Casares defiende la de Yukawa, que estableció una teoría por la que debían existir unas partículas de masa mucho mayor que el electrón, de carga positiva o negativa, llamada electrón pesado, mesón o mesotró. Paradójicamente, el mismo año de la publicación de este texto (1953, aunque las conferencias son de 1951) se comprobó experimentalmente la existencia del neutrino por parte de Cowan y Reines, existencia que se había predicho veinte años antes por Pauli y Fermi.

Al desarrollar los conceptos de la energía cinética rechaza Casares la igualdad entre masa inerte y masa pesante, indicando que pueden tener el mismo valor pero son de naturaleza diferente. La masa inerte de un cuerpo esta únicamente vinculada al propio cuerpo, en cambio la pesante está vinculada tanto al cuerpo como al campo, de forma similar a la masa inerte y la masa eléctrica que responden a entes distintos. Un ejemplo de esta idea, según Casares, es que hay partículas que poseen inercia pero

---

<sup>18</sup> Casares Roldan, *Hacia una nueva Física. Fascículo I*. Imprenta Urania, Granada, 1953, p. 28.

no pesan. Plantea que la energía cinética de los cuerpos se debe a la existencia de unas partículas asociadas llamadas cinetones.

También plantea la discontinuidad del tiempo, como una necesidad de la física nuclear, citando que esta idea ya fue postulada por el físico italiano Marcello Puma en 1945.

Desarrolla Casares una teoría sobre la discontinuidad de la energía basada en cinetones, aunque sin plantear ninguna prueba experimental ni desarrollo consistente. Su teoría se resume en que la energía cinética es la base de todo movimiento y debe tener una estructura corpuscular, cuyo corpúsculo mínimo fundamental debe tener una masa inerte que es la que hace que la masa de un cuerpo crezca con la velocidad (con una expresión similar a la relativista), resultando  $m = m_0 / (1 - v^2/W^2)$ . Esta expresión hace que la diferencia de valores obtenidos caiga dentro del límite de los errores experimentales. Desarrolla también la dinámica basada en su teoría con resultados similares a los relativistas. Finaliza con una típica expresión de los antirrelativistas de la época de recepción:

Estos son precisamente los resultados generales de la teoría de la Relatividad restringida, al menos en su aspecto cualitativo; y como hemos llegado a ellos sin salirnos del viejo marco que nos legaron los fundadores de la Mecánica, un espacio y un tiempo absolutos, se ha afirmado nuestra convicción de que será posible dar una imagen coherente del mundo físico sin necesidad de hipótesis en pugna con nuestros hábitos mentales por mucho que se quiera respaldarlas con el prestigio de su bagaje matemático.<sup>20</sup>

Desde mi punto de vista, Casares tiene el interés de haber intentado una teoría original, aunque por la metodología empleada y la falta de propuestas experimentales, en mi opinión no es de rigor científico.

En la línea de Casares y Apraiz, pero más radical si cabe, hay que situar el fascículo del ingeniero de caminos Juan Alberto Morales, *La relatividad, errores, mitos, falacias e incongruencias de una teoría y nueva teoría sobre la transmisión de la luz en los sistemas móviles*, (Málaga, 1975). Aunque de fecha tan tardía, he considerado conveniente plasmarlo aquí porque parece más propio del ambiente antirrelativista de épocas pasadas. El título ya lo dice todo en cuanto al escaso rigor epistemológico del autor, como se puede comprobar en la introducción, donde afirma: “esta obra no se ha escrito para convencer a los relativistas: ellos ya están convencidos de sus errores”. Cita a Majorana, a Dingle y a Palacios, del que proporciona abundantes referencias, para apoyarse en su tesis antirrelativista. En definitiva es una obra de escaso rigor científico, lo que se puede comprobar con su lectura, que, por otra parte, no aporta nada nuevo.

En este sentido también cabe citar el intento del médico Lorenzo Miranda, en 1966, de plantear, no ya una alternativa a la relatividad, sino una teoría completa del universo y de la física gravitatoria, con hipótesis sobre el “agotamiento” de la luz en su

---

<sup>19</sup> Casares Roldán, *Ibidem*, p. 44.

propagación, que explicarían el corrimiento al rojo, o recuperar la gravitación como fuerza, donde la base matemática, la deducción de sus conclusiones, y la posibilidad de refutar o comprobar experimentalmente sus ideas, brillan por su ausencia<sup>21</sup>. Como el caso anterior de Morales, éste de Miranda resulta curioso, anecdótico y, en cualquier caso, siempre enriquecedor como especulación funambulesca. Curiosamente esta obra está prologada por el catedrático de Física Adolfo Morán.

Un caso interesante de reapertura del debate sobre el éter es el de Eduardo M<sup>a</sup> Gálvez Laguarda, quien planteó el problema de los errores conceptuales que se pueden producir por cuestiones terminológicas, como el principio de indeterminación frente al de incertidumbre, o el concepto de materialización de la energía en vez de agregación<sup>22</sup>. En concreto, respecto al éter afirma:

Rotundamente se afirma: “El éter no existe”. Esta frase requiere una aclaración interpretativa, porque, desde luego, no puede ser admitida literalmente.

Podemos entender que el éter no existe tal como se había imaginado, porque no se haya dado de él una imagen que explique satisfactoriamente los fenómenos que se pretende interpretar, pero no podemos negar su existencia del mismo modo que en un espectáculo de magia; porque no entendamos la trampa, no negaremos que la trampa existe. Sustituir el éter por campos de fuerza equivale a admitir su existencia, porque si las fuerzas están tomadas en el vacío, éste no puede ser el campo matemático, que es una abstracción geométrica, y por tanto inerte, sino que tiene que ser un espacio físico que requiere un soporte forzosamente material, el llamado éter cósmico.

También podemos tomar la frase “el éter no existe” dándole otra significación que no tenga más alcance que el valor que le asignamos. Prescindimos del éter para expresar las fórmulas relativistas como se prescinde para expresar la ley de la gravitación universal, que muy prudentemente enunció Newton diciendo “los cuerpos actúan como si se atrajeran...”, y por eso en este sentido se dice que “el éter no existe”. Es un modo de hablar metafórico que se presta al equívoco. Resulta pintoresco que la costumbre de usar esta metáfora haya originado temor a nombrar el éter cuando se requiere aludirlo, pues después de afirmar que el éter no existe se dice que el vacío se polariza, la palabra “éter” es “tabú” en este caso. No vamos a prescindir del éter con la ingenuidad del niño que cierra los ojos para que no le vean; el ave que oculta su cabeza bajo el ala no por eso deja de existir en el mundo exterior. No se resuelve el problema ocultándolo. Las leyes gravitatorias tradicionales o relativistas son empíricas y de la validez de sus fórmulas no se infiere la validez de sus teorías, que son utópicas si aparecen contradicciones lógicas en los argumentos invocados o desacuerdos experimentales obtenidos. Cuando aplicando una hipótesis encontramos una fórmula

<sup>20</sup> Casares Roldan, *Hacia una nueva Física. Fascículo II, La Energía Cinética y el Movimiento*, Imprenta Urania, Granada, 1953, p. 75.

<sup>21</sup> Lorenzo Miranda, *Teoría del Universo y física gravitatoria*, Madrid, 1966.

errónea, debemos corregirla. Modernamente se ha generalizado mucho la costumbre de corregirla compensando el error, en vez de subsanarlo. No se puede sacar una conclusión verdadera con un error en las premisas o en la argumentación, pero se puede compensar. Era menester revisar la hipótesis en sus fundamentos, para edificar rigurosamente una teoría correcta.<sup>23</sup>

Vemos claramente una posición del autor, aunque algo ambigua, próxima a los planteamientos de Palacios, y con unos criterios de validez de teorías científicas que, en mi opinión y desde el punto de vista de metodología de la ciencia, no son muy rigurosos.

Otro caso interesante, que habría que calificar de posicionamiento ambiguo frente a la relatividad, es el de Antonio Herranz, quien realizó en 1969 una tesis doctoral dirigida por el mismo Palacios, denominada *Algunas consecuencias de la teoría de la relatividad de Palacios*.<sup>24</sup> El tribunal estaba constituido por Julio Palacios como presidente y Luis Bru, Salvador Velayos, Francisco Morán y Maximino Rodríguez como vocales. Anteriormente Herranz ya había colaborado con Palacios, colaboración que se deduce del agradecimiento de Palacios “por la ayuda prestada” en el artículo de 1968 “La nueva dinámica antirrelativista”. Algo antes, Herranz publicó un artículo en la *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*<sup>25</sup>, y en 1971 apareció en *Anales*, ya muerto Palacios, otro escrito suyo en colaboración con Palacios.<sup>26</sup> En este caso, en cambio, independientemente de que el planteamiento de Herranz pudiera ser ambiguo frente a la relatividad, sí estamos hablando de un trabajo científico que cumple con criterios de rigor. Como muestra de ello, plantea algunos experimentos que podrían validar o refutar su teoría. Veámoslo, pues, en detalle.

El trabajo de Herranz se divide en dos partes. En la primera se intenta explicar, desde la teoría de Palacios, el resultado de algunos experimentos conocidos, como el corrimiento hacia el rojo y el eco de radar en los planetas. La segunda parte propone varios experimentos para los que se prevén diferentes resultados con la teoría de Einstein que con la de Palacios. Debido a la ausencia de propuesta de experimentos en la obra de Palacios, esta parte es de indudable interés. Los experimentos propuestos son tres: sobre la contracción de Fitzgerald-Lorentz, sobre la contracción transversal en el efecto Mössbauer y sobre la masa de la energía potencial.

La parte inicial justifica la relación de Palacios de  $m_g = G^{1/2} m_i$  que se opone a la igualdad de las masas inerte y gravitatoria en la relatividad general de Einstein. Según Herranz la viabilidad de la elección de Palacios la asume Tonnelat en *Les verifications expérimentales de la Relativité Générale*, Masson (1964). Continúa con una breve

<sup>22</sup> Galvez Laguarda, “El confucionismo terminológico en la Física y la Filosofía”, *Physicalia*, nº 20, Enero 1956, p 2-4.

<sup>23</sup> Galvez Laguarda, *Ibidem*, pag. 3.

<sup>24</sup> Herranz, Tesis doctoral. Universidad de Madrid. Facultad de Ciencias, 1969.

<sup>25</sup> Herranz, Antonio, “El corrimiento al rojo de las rayas espectrales”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 60, 1966, p 597.

<sup>26</sup> Herranz, Antonio y Julio Palacios, “Estudio del corrimiento hacia al rojo en la teoría de la gravitación de Palacios, mediante las longitudes de onda”, *Anales de Física, Soc. Esp. Física y Quím.*, vol 67-A, 1971, p. 397 a 399.

síntesis de las ecuaciones gravitatorias de Einstein, cuyo interés reconoce en que da resultados muy aproximados al aplicarlas a un astro, orden de aproximación que, señala Herranz, también cumplen otras teorías de la gravitación, como la de Fock en 1964 (*The theory of space, time and Gravitation*) o Capella en 1966 (cuya propuesta ya vimos anteriormente que no se puede encuadrar fuera de la ortodoxia relativista). Cita a varios autores que conservan el espacio cuadrimensional de la relatividad especial, como Hood (1966), Rastall (1966), Pauli, Von Laue, que, como en la teoría de Palacios, no atribuyen curvatura al espacio y deben considerar un índice de refracción del vacío para explicar la curvatura de los rayos luminosos.

Herranz explica la teoría de la gravitación de Palacios basándose en los tres postulados establecidos en 1965. De dicha teoría se concluye que el éter se contrae en un campo gravitatorio lo mismo que cualquier cuerpo natural, pero como lo que le ocurre al éter también le sucede a los metros, no es posible observar este efecto. Calcula el factor de contracción del éter, que es de la forma  $\alpha = (1 + GM/rc^2)^{-1}$ , así como el potencial gravitatorio y la masa asociada a la energía potencial.

Desarrolla el corrimiento hacia el rojo del espectro en un campo gravitatorio, considerando dos casos: el corrimiento de la luz solar y el de las estrellas muy densas. En los dos casos destaca los problemas en las mediciones, en el primero por el efecto del borde solar que altera las medidas (además este efecto, según indica más adelante, no se explica ni con la teoría de Einstein ni con la de Palacios) y en el segundo porque sólo es posible con estrellas del tipo enanas blancas en las que es muy difícil calcular con precisión la masa de la estrella que genera el corrimiento. Aun así, según el cálculo teórico de Einstein sale un valor aproximado al experimental. Lo que ocurre es que la teoría de Palacios predecía el mismo valor teórico que la de Einstein, aunque la marcha del tiempo no se altera por la presencia de un campo gravitatorio, por lo que según Herranz, el campo “debe influir en los propios átomos y debe manifestarse su efecto en el proceso de la emisión de un fotón” y el resultado implicará un cambio en la frecuencia emitida por los átomos. Para esta idea se apoya en Tonnelat. Ahora bien, aquí Herranz no explica este cambio por la variación de la constante de Planck, como sí hacía Palacios, sino aplicando el principio de conservación de la energía, que incluye la energía cinética, la potencial y la masa<sup>27</sup>, obteniendo la misma fórmula que la de Einstein. Para el cálculo de la longitud de onda considera que la velocidad de la luz depende del potencial gravitatorio (lo que no se aceptaba en la teoría de Einstein) obteniendo las mismas fórmulas que las de Einstein. En mi opinión, aun siendo correcto el cálculo de Herranz no explica el motivo último del por qué del cambio de frecuencia, como no fuera la variación de  $c$  con la gravedad.

El siguiente capítulo lo dedica al efecto Mössbauer, que se consideraba una prueba de la dilatación temporal por la acción gravitatoria y del que Palacios nunca mencionó nada en su abundante bibliografía. Herranz explica dicho efecto con la teoría de Palacios por el cambio en la frecuencia propia de los átomos producido por el campo gravitatorio terrestre y cuyo desarrollo da la misma expresión que la de Einstein. Da multitud de ejemplos experimentales realizados en años previos, pero no parece que ninguno aclare la explicación última del efecto Mössbauer, si es por la dilatación

temporal o por el cambio en la frecuencia propia de los átomos. Tampoco explica por qué cambiaría la frecuencia de los átomos, cual sería la causa última.

A continuación trata el cuarto test de la relatividad general propuesto por Shapiro en 1964. Éste consiste en comprobar el retraso temporal de una señal de radar al pasar por un campo gravitatorio, comprobación que se haría con la detección del eco del radar. Herranz afirma que todavía no se había podido realizar el experimento en esas fechas (1969) pero realmente sí se hicieron, coincidiendo con la conjunción superior de Mercurio en Agosto de 1967, obteniendo los resultados previstos.<sup>28</sup> Herranz desarrolla el cálculo previsto según Palacios, aplicando la teoría del factor de contracción del éter, que recordemos daba el mismo que con la relatividad general, y, lógicamente, obtiene para este caso también los mismos valores que los de Shapiro.

Desde mi punto de vista, si bien la teoría de Palacios pudiera explicar los mismos hechos que la de Einstein, no hay motivo metodológico para rechazar ninguna de las dos. De todas formas si el factor de contracción del éter coincide con el factor de curvatura del espacio, realmente son teorías similares pero más sencilla es la de la relatividad general, porque si identificamos el éter con el espacio viene a ser lo mismo. Palacios opina que el espacio no se curva, por lo que mantiene la geometría de Euclides, pero el éter que está en todo el espacio sí, donde ya tendríamos que aplicar la geometría riemanniana. Es en la segunda parte de la tesis de Herranz donde se proponen experimentos que deberían ratificar la teoría de Palacios y ¿refutar la de Einstein?. Vamos a repasarlos, aunque que yo sepa, no se han realizado o no se ha propuesto su realización efectiva.

Herranz propone un experimento para distinguir entre la teoría de Palacios y la de Einstein respecto a la contracción de los cuerpos. Este experimento consistiría en una barra a la que suponemos una velocidad absoluta  $v$ . Si se la hace girar con una velocidad angular, según la contracción de Palacios cambiará su longitud al variar el ángulo que forme la barra con el sentido de la velocidad absoluta. A dicho cambio de longitud corresponde una velocidad relativa entre los extremos de la barra, que se podría medir por el efecto Doppler, situando un emisor y un absorbente tipos Mössbauer en los extremos de la barra. Si se puede medir la velocidad relativa indicada se podrá deducir la velocidad absoluta del laboratorio.

La experiencia no sirve para distinguir entre las contracciones de Palacios y la de Lorentz, pero sí entre la teoría de Palacios y la de Einstein. Según esta última este experimento debe dar resultado nulo.

El último tema es el atribuir masa a la energía potencial, hipótesis que realizaron tanto Palacios como Brillouin pero que Herranz aclara no es incompatible con la relatividad.

En su tesis no parece que Herranz tome partido claramente por la teoría de Palacios, sino que en muchos casos considera que da igual respuesta que la de Einstein, aspecto sobre el que incide repetidamente. Sí se puede decir que no sigue el

---

<sup>27</sup> Herranz, *Algunas consecuencias de la teoría de la relatividad de Palacios*, Tesis Doctoral, 1969, p. 33.

<sup>28</sup> El detalle se puede seguir en Clifford M. Will *Was Einstein Right?*, Nueva York, 1986 (versión española ¿Tenía razón Einstein?, Gedisa, 1989, p. 101).

planteamiento fuertemente crítico de su director de tesis frente a la relatividad y, en cualquier caso, parece mostrarse prudente ante la espera de que algún hecho experimental refute una u otra teoría.

Un aspecto muy interesante de esta tesis es el hecho de que se propongan experimentos para ratificar la teoría de Palacios, ya que éste prácticamente no propuso ningún experimento significativo y eran simplemente teóricos.



#### 4.8. LOS DEBATES EN TORNO A LA RELATIVIDAD EN ESPAÑA (1939-1969)

Prácticamente todos los debates habidos en España en la España de Franco estaban relacionados con la postura de Palacios, algunos explícitamente, como dos artículos de Ortiz Fornaguera, y otros en los que, sin citar a Palacios, parece bastante claro que se refieren a él y sus colaboradores.<sup>1</sup>

##### 4.8.1. EL DEBATE ORTIZ FORNAGUERA-PALACIOS

Sin duda alguna, el debate más interesante desde el punto de vista científico fue el de Ortiz Fornaguera y Palacios, en la *Revista de la R. Acad. Ciencias de Madrid*. El único intento importante de contrarrestar a Palacios en España vino por parte del primero, que escribió dos artículos de réplica, en 1964 y 1965.<sup>2</sup> Palacios contestó a los dos en el mismo medio, por lo que podemos afirmar que éste fue prácticamente el único debate riguroso sobre el tema en España en estos años.<sup>3</sup> Al respecto, es interesante señalar que a partir de mediados de los 60 en *Anales de Física* se empezaron a publicar artículos complejos sobre la relatividad pero en el ámbito del pensamiento relativista, sin la más mínima mención a Palacios. Hemos visto muchos ejemplos.

Primero hay que resaltar que el estilo de Ortiz es aséptico, sin ninguna intención aparente de controversia ni valoraciones personales. Los párrafos de inicio y final del primer artículo son significativos al respecto

En lo que sigue se compara la teoría de la relatividad debida al Prof. Palacios, con la einsteniana. *De la comparación resulta que una renormalización adecuada hace pasar de un esquema al otro.*<sup>4</sup>

[....]

Resumiendo: por el momento ningún hecho experimental comprobado apoya la teoría de Palacios que no se pueda explicar con el modelo de Einstein. La circunstancia de que una simple renormalización reduzca aquella teoría a la teoría ortodoxa, apunta a que se trate de una cuestión de interpretación. No quiere esto decir que no llegue un momento en que haya que abandonar la teoría de la relatividad, pero *a ello conducirán, no*

---

<sup>1</sup> Me ha parecido más conveniente reflejar en un apartado específico los debates asociados a la teoría de Palacios y no dentro del apartado dedicado a su propuesta alternativa o antirrelativista, ya que estos debates reflejan la opinión y la contribución específica de otros autores españoles. Sólo he mantenido dentro del apartado de Palacios los debates con científicos extranjeros.

<sup>2</sup> R. Ortiz Fornaguera, "Sobre una nueva teoría de la relatividad" (*Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1964, v58, p399-415) y "Comentarios a dos recientes artículos de J. Palacios" (*Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1965, v 59, p 440- 446).

<sup>3</sup> Palacios "Sobre una nueva teoría de la relatividad. Réplica al artículo del Sr. Ortiz Fornaguera" (*Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1964, v 58, p 417-430) y "La axiomática relativista. Réplica a los comentarios del Sr. Ortiz Fornaguera" (*Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1965, v 59, p. 447-460).

<sup>4</sup> R. Ortiz, "Sobre una nueva teoría de la relatividad", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1964, p 399. Las cursivas son mías.

*cuestiones de interpretativa, sino nuevos hechos que no encajen con el modelo.*<sup>5</sup>

A lo largo del texto, Ortiz contrasta el modelo relativista de Einstein con el de Palacios, sin tomar partido aparente por uno u otro. El modelo einsteniano lo defendería un personaje al que denomina relativista-E, y el modelo de Palacios un relativista-P. Pero en el desarrollo del artículo sí se decanta por el modelo einsteniano, aunque es sutil en su defensa. Se basa principalmente en el libro completo de Palacios de 1960 *Relatividad. Una nueva teoría*.

Primero se aclara lo que debe entenderse por un sistema de referencia, que no es más que un sistema de coordenadas y un dispositivo cronométrico. Analiza en profundidad las ecuaciones de transformación de Palacios y Lorentz que realmente son similares salvo un factor  $p$  que con Einstein es 1 y con Palacios es  $\alpha = (1-v^2/c^2)^{1/2}$ , desarrolla el sistema de ecuaciones en formulación covariante, para concluir que mediante un proceso de renormalización en el aspecto cinemático se puede pasar de la teoría de Palacios a la de Einstein y en cuanto a la dinámica y la electrodinámica en realidad no se infieren diferencias de aplicar un sistema u otro. Es decir, los conceptos de impulso y sus leyes de transformación son las mismas y las ecuaciones de Maxwell en ambos casos conducen a la invarianza de la fuerza electromotriz de Lorentz y a la carga eléctrica, tanto en reposo como en movimiento. Para el caso de la cinemática, que resume en un problema de renormalización, cita a Romain en un artículo en *Nuovo Cimento* de 1963 en que llega a las mismas conclusiones que Ortiz<sup>6</sup>.

Respecto al problema de las constantes universales, si tenemos una constante  $a$  cuya fórmula dimensional es  $[a] = L^\lambda M^\mu T^\zeta Q^\xi$  la transformación de dicha constante es  $a = \alpha^{\lambda+\zeta} a'$ . El hecho de que en el modelo de Palacios sí varíen es porque para este último  $a'$  es la medida de  $a$  en el sistema de referencia fijo, con patrones universales y no con unidades renormalizadas, como sería en el modelo relativista. En definitiva el factor de renormalización tiene realidad física en el modelo de Palacios y en cambio es el resultado de un convenio en el modelo relativista.

Al repasar varios de los ejemplos que desarrolla Palacios, Ortiz apunta la primera crítica directa al afirmar que en el modelo einsteniano no hay, como pretende demostrar Palacios, ninguna modificación de la marcha de los relojes, ni por lo tanto del periodo de los mismos. El periodo del reloj es el mismo en cualquier sistema inercial en el que se encuentre en reposo, en cambio la medida del periodo desde un sistema inercial respecto del cual el reloj está en movimiento depende de la velocidad.

Otro motivo de crítica es la asignación que hace Palacios a cada sistema de referencia de un tiempo propio contado a partir de la creación y que, por tanto, tendría carácter absoluto. Ortiz razona

...pero es claro que para un relativista-E, el que se pueda asociar a cada sistema inercial un tiempo, acaso distinto de un sistema a otro, en nada se opone a que todos los sistemas inerciales sean equivalentes para la

<sup>5</sup> *Ibidem*, p 415. Las cursivas son mías.

descripción de los fenómenos físicos, que es al fin y al cabo, lo que postula el principio de relatividad. De lo que pudo haber ocurrido antes de ser inerciales nada cabe decir dentro del esquema de la relatividad especial.<sup>7</sup>

Aunque Ortiz es consistente en su argumentación, creo conveniente aclarar su razonamiento sobre la equivalencia de los sistemas de referencia respecto de los fenómenos físicos: aunque en principio se podría extender esta equivalencia al tiempo, esto es, teóricamente podría postularse un tiempo propio con carácter absoluto, (considerando el origen del tiempo el momento de inicio de todos los sistemas de referencia), éste no tendría carácter operacional, ya que no habría manera de medirlo. Por lo tanto, por no poder operar con él, no tiene cabida en las leyes de la física dicho tiempo absoluto.

El siguiente aspecto en que concreta la crítica es el de la paradoja de los relojes y la dilatación del tiempo.

La llamada *paradoja de los relojes* ha sido examinada por Palacios repetidamente. Es sabido el importante papel que representó esta paradoja en las discusiones que suscitó la teoría de Einstein en los primeros años. Pero también es sabido que no puede explicarse esta paradoja con sólo los recursos de la teoría especial, la cual considera únicamente las relaciones existentes entre sistemas inerciales. Se podrá afirmar o negar la *aplicabilidad* de la teoría de la relatividad a los fenómenos físicos, pero no cabe negar que explica la paradoja a partir de sus propios postulados.<sup>8</sup>

Aquí Ortiz se apoya en Moller, *The Theory of Relativity* (1952) y en Tolman, *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, (1934) y critica a Palacios el que éste no considere en sus cálculos que el sistema que invierte la marcha deja de ser inercial.

En cuanto a la dilatación del tiempo, tanto en Rel. página 62 y siguientes, como en un reciente trabajo<sup>9</sup> se advierte una interpretación errónea de las fórmulas relativistas. Desde el punto de vista einsteniano, la solución de Born ("Nature", 197, 1248, (1963)) es correcta. No lo es, en cambio, renormalizar primero el patrón de tiempo en *uno* de los sistemas, modificando la marcha de *uno* de los relojes, y aplicar luego las fórmulas

$$t=(t'+vx'/c^2)/(1-v^2/c^2)^{1/2} \quad t'=(t-vx/c^2)/(1-v^2/c^2)^{1/2} \quad (\text{Rel. Pág. 62 y loc. cit. Pág. 587})$$

sin tener en cuenta que éstas se refieren a medidas con los patrones universales en el esquema de Einstein.<sup>10</sup>

<sup>6</sup> Romain, *Nuovo Cimento*, vol. 30, 1963, p. 1254-1271.

<sup>7</sup> *Ibidem*, p 411.

<sup>8</sup> *Ibidem*, p 412.

<sup>9</sup> J. Palacios, "The inner inconsistencies of Einstein's theory", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 57, 1963, p 585.

<sup>10</sup> Ortiz, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, 1964, p 412 y 413.

Respecto a la crítica que hace Palacios del universo de Minkowski con la unificación del espacio y el tiempo en un todo espacio-tiempo, afirmando, entre otras ideas, que el espacio y el tiempo son cosas totalmente distintas, Ortiz plantea el problema lúcidamente

En realidad, la “fusión” de espacio y tiempo en un espacio-tiempo no es tan íntima como podría parecer por lo que procede. En toda teoría relativista el tiempo representa un papel del todo distinto del que representan las coordenadas espaciales. Ciertamente es que espacio y tiempo se estructuran en un mismo espacio pseudoeuclídeo, pero este mismo carácter estructural hace del tiempo algo esencialmente irreducible al espacio: la propia métrica garantiza la diferencia esencial entre el conjunto de las coordenadas espaciales y la coordenada temporal de un punto del espacio-tiempo.<sup>11</sup>

En mi opinión esta respuesta de Ortiz es totalmente acertada, incidiendo en uno de los principales errores de Palacios.

El último aspecto en el que se muestra una crítica directa a Palacios es el que se haya considerado el experimento de Kantor como un argumento contra la relatividad. Este asunto se trata más adelante en el análisis que hizo De Gopegui al respecto.

La contestación de Palacios se produjo con el trabajo “Sobre una nueva teoría de la relatividad. Réplica al artículo del Sr. Ortiz Fornaguera”<sup>12</sup>. Aunque empieza en tono amable agradeciendo a Ortiz su artículo es sorprendente que ya en el inicio afirme:

Como no señala ninguna contradicción en mis postulados, ni errores en mis razonamientos que invaliden las consecuencias, reconoce tácitamente que he logrado mi propósito: elaborar una teoría que esté libre de dificultades de orden lógico y que explique todos los hechos que se consideren como confirmaciones experimentales de la teoría de Einstein.<sup>13</sup>

Desde luego, del texto de Ortiz es obvio que no se puede concluir esto, de hecho Palacios no contesta a Ortiz en sus críticas concretas a la interpretación del experimento de Kantor, a su interpretación del espacio-tiempo, ni a su idea del tiempo absoluto medido desde el momento de la creación. Solo lo hace sobre el concepto de sistemas de referencia y sobre la paradoja de los relojes. Tampoco contesta sobre la interpretación de Ortiz acerca de la correspondencia del modelo de Einstein y el de Palacios aplicando una renormalización, que es la idea fundamental del artículo de Ortiz.

Comienza Palacios este artículo con el problema de definir los sistemas de referencia. Para Palacios los utilizados en relatividad no son válidos porque “se utilizan referenciales en los que la distribución de relojes se sustituye por una cuarta dimensión. Tales sistemas no sólo son irrealizables, sino que ni siquiera son

---

<sup>11</sup> *Ibidem*, p 413.

<sup>12</sup> *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, 1964, vol. 58, p. 417 a 430.

<sup>13</sup> Palacios, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, 1964, vol. 58, p 417.

susceptibles de representación mental. (...). Son ficciones irrealizables e ininteligibles, pues no hay manera de concebir la cuarta dimensión, ni mucho menos el que represente el tiempo". Vemos que Palacios, en vez de contestar a Ortiz, sigue expresándose de la misma manera.

En cuanto al planteamiento que realiza Ortiz sobre la renormalización para pasar del modelo de Palacios al de Einstein, Palacios no analiza dicha idea de renormalización, aunque sí quiere dejar claro que los dos modelos son claramente distinguibles, ya que con el de Einstein se produce la dilatación del tiempo y con el suyo se conserva el tiempo absoluto.

Respecto a la paradoja de los relojes vuelve a usar los mismos razonamientos de textos anteriores, aunque ahora reconoce que la prioridad en el descubrimiento de la supuesta "trampa", como él mismo la denomina, corresponde a Langevin, aunque lo que "no se explica es que Langevin siguiera creyendo en la teoría de la relatividad".

Interviene ahora Ortiz Fornaguera con el artículo "Comentarios a dos recientes artículos de J. Palacios"<sup>14</sup>, en el que no contesta directamente a la réplica de Palacios, sino que analiza dos recientes textos de Palacios, "The transformations laws in relativity" y "Dinámica relativista", ambos de 1965 publicados en la *Revista de la R. Acad. Ciencias de Madrid*, en los que se intenta poner de manifiesto contradicciones internas de la relatividad y que el principio de relatividad es intrínsecamente contradictorio.

En este caso Ortiz sí realiza una crítica más incisiva y en diversos aspectos:

- Sobre la axiomatización de Palacios, que pudiendo ser válidas en principio no se debe priorizar sobre la de Einstein por cuestiones de tipo lógico, ya que tan válida puede ser también la axiomatización einsteniana.
- Sobre la aparente incompatibilidad entre la dilatación del tiempo y el principio de relatividad.
- Sobre la aplicación incorrecta de las transformaciones de Lorentz a los campos eléctricos y magnéticos, que le llevan a Palacios a deducciones erróneas.
- Sobre la consideración por Palacios de fuerzas ficticias en referenciales no absolutos.
- Sobre la no invarianza de las constantes universales.
- Sobre las consideraciones acerca de las acciones a distancia.
- Sobre cálculos incorrectos para la expresión del potencial escalar de una carga puntual.

Repasemos cada una de esta críticas de Ortiz. Del análisis de dichos textos, Ortiz concluye que los argumentos de Palacios pueden dividirse en dos tipos: los que se basan en los propios postulados de Palacios y los que se basan en los postulados de Einstein en los que ve contradicciones. De los primeros dice que es lógico que lleguen

---

<sup>14</sup> *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, 1965, vol. 59-3, p. 440 a 446.

a conclusiones divergentes por partir de postulados que también difieren. De los segundos dice que “las contradicciones que señala son, como era de prever, solo aparentes”. Esta defensa de los postulados de Einstein la razona Ortiz en que a lo largo de los años se ha realizado un análisis axiomático profundo de dichos postulados, que se han basado “en los más potentes recursos de la lógica formal”, además de considerar “otros elementos básicos de la teoría, por ejemplo, los dispositivos cronométricos y la construcción del espacio que no se analizan en la teoría de Palacios”.

Analiza los elementos fundamentales de la teoría de Palacios como

...la existencia de un sistema inercial único privilegiado (el sistema absoluto) y la existencia de un tiempo universal marcado por cronómetros perfectos (..) cuya marcha no es alterada por el movimiento, de forma tal que si se sincronizan con el reloj patrón en reposo (absoluto) y se llevan luego a otro sistema inercial, el tiempo que marcan es el tiempo universal. Estos dos elementos son, pues, estrictamente newtonianos. Nada tiene de sorprendente, por lo tanto, que postulando un espacio y un tiempo singularizados llegue a conclusiones que nos dicen que existe un espacio y un tiempo singularizado. A este tipo de razonamientos pertenecen los que le llevan a proponer experimentos ideales para determinar la velocidad absoluta de un sistema inercial.<sup>15</sup>

Considerando uno de esos experimentos ideales, concluye que la “unicidad de la sincronización automática por transporte es, quizá, el rasgo más característico de la teoría de Palacios”. Ortiz considera haber demostrado que “si el sistema de postulados de Einstein está libre de contradicción interna, también lo está el de Palacios. Pero, claro está, el recíproco es también cierto y si se llegara a descubrirse una *contradicción lógica* en la teoría einsteniana, automáticamente quedaría de manifiesto una contradicción lógica en la de Palacios”. Es decir, para Ortiz la posible preferencia por un sistema de postulados u otro, en cuanto a aplicabilidad o no para la descripción del mundo físico, no se debe basar en elementos pertenecientes a la lógica, sino en la confirmación de hechos experimentales.

Como ejemplo de que “carecen de validez los razonamientos en los que se mezclan elementos extraños”, como los de Palacios, Ortiz Fornaguera realiza unos cálculos en los que demuestra que no existe incompatibilidad entre el principio de relatividad y el fenómeno de la dilatación del tiempo, incompatibilidad que sí defendía Palacios.<sup>16</sup>

Para Ortiz, otro error importante en la teoría de Palacios es el que las fuerzas reales no dependan del sistema de referencia elegido y que considere fuerzas ficticias todas aquellas que no se manifiesten en el referencial absoluto. Además, la afirmación sobre la no covarianza de las leyes físicas “indica la existencia de un error en el razonamiento”. En relación con este aspecto destaca Ortiz otro error importante de Palacios: en la transformación de las ecuaciones de Maxwell para un sistema en que el campo eléctrico no es nulo y el magnético sí es nulo hay que considerar que  $E$  y  $H$

<sup>15</sup> Ortiz Fornaguera, “Comentarios a dos recientes artículos de J. Palacios” *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 59, 1965, p 439-446.

<sup>16</sup> Ortiz Fornaguera, *Ibidem*, p 441.

no son vectores inconexos (son componentes de un tensor), por lo tanto si se aplica las transformaciones de E, dejando invariante H, como hace Palacios, se llega a unas ecuaciones erróneas. Esta solución es en lo que se basa Palacios para rechazar la covarianza de las leyes del electromagnetismo y por lo tanto el principio de relatividad. En cambio una aplicación rigurosa de las transformaciones relativistas para E y H no daría lugar a dicha contradicción.

Ortiz continua con su crítica, que esta vez sí es fuerte,

He aquí otras afirmaciones de Palacios que resultan un tanto sorprendentes. En (5) [Palacios, *Dinámica relativista. Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1963, Pág. 61], dice que «si fuese válido el principio de relatividad, deberían ser invariantes las constantes universales, cosa imposible puesto que su medida es afectada por el cambio de unidades de acuerdo con su respectiva fórmula dimensional». Ahora bien, es el caso que tal cambio no se produce en la teoría de Einstein (que admite dicho principio) y sí en la de Palacios (que no lo admite), lo que nada tiene de particular: todo razonamiento que parte de postulados que nieguen la proposición A, tiene que conducir a enunciados relativos a A que nieguen su verdad.<sup>17</sup>

Respecto al problema de la aplicación que realiza Palacios de la expresión de la fuerza que no puede aplicarse para acciones a distancia, Ortiz afirma, acertadamente en mi opinión, que Palacios “olvida aquí que en la teoría de la relatividad *no hay fuerzas a distancia*, sólo fuerzas de contacto y campos, pero campos existentes como objeto físico, no como truco matemático”.

Por último se constata un error en la expresión calculada por Palacios para el potencial escalar de una carga puntual, error que Ortiz atribuye a la confusión del elemento de volumen en los dos sistemas de referencia. Según Ortiz para el sistema S' Palacios considera  $dV$ , en vez de  $dV'=dx'dy'dz'$ .

Es el turno ahora de Palacios, que replica a Ortiz a través de la misma Academia.<sup>18</sup> Del planteamiento en la contestación, parece que Palacios no ha comprendido las ideas de Ortiz respecto a la axiomática, ya que vuelve a repetir similares argumentos, en vez de refutar la idea de que mediante procedimientos lógicos no se puede priorizar un conjunto de axiomas frente a otros. Vuelve a insistir en la transcendencia del principio métrico, que debería figurar como axioma sobre la base del conocimiento físico.

Palacios vuelve a repetir sus argumentos respecto a la covarianza de las leyes físicas, la invarianza de las constantes universales y las fuerzas a distancia, aunque se defiende “Para mí, los campos no son un *truco matemático*, como insinúa el Sr. Ortiz, sino una realidad física, que se manifiesta por un hecho observable”. También defiende, como es lógico, la bondad del cálculo del potencial de una carga, basado ahora sí, en la invarianza de la carga.

<sup>17</sup> *Ibidem*, p 444.

<sup>18</sup> Palacios, “La axiomática relativista. Réplica a los comentarios del Sr. Ortiz Fornaguera”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v. 59, 1965, p. 447-460.

## 4.8.2. LA CONTROVERSIA EN TORNO AL EXPERIMENTO DE KANTOR.

Sobre la interpretación de Palacios del experimento de Kantor de 1964, ya analizado previamente en profundidad en el apartado dedicado al físico aragonés, Ruiz de Gopegui analizó dichas interpretaciones en la revista *INE* y Gallego Díaz polemizó pública y amistosamente con Palacios.

Realmente no hubo controversia directa como tal entre Gopegui y Palacios, sino una serie de artículos del primero sobre las consecuencias del experimento de Kantor, que revisaban de forma objetiva los hechos, de tal forma que se desautorizaba a Palacios en sus conclusiones. Palacios no contestó a Gopegui, salvo que lo hiciera por correspondencia privada y no haya trascendido públicamente. A raíz de un artículo de Palacios sobre el experimento de Kantor, Luis Ruiz de Gopegui publicó tres artículos en la revista *INE (Revista del Instituto Nacional de Electrónica)*, dos en 1963 y uno en 1964, todos bajo el título “¿Qué pasa con la teoría de la relatividad?”. En el primero se hace eco de un artículo de Palacios en *ABC*, que califica de sensacional, en el que afirma que la relatividad “es falsa de toda falsedad”, basándose en el experimento de Kantor. Gopegui hace un resumen del experimento de Kantor (que ya he analizado en profundidad en el apartado dedicado a la teoría de Palacios), publicado en *Journal of the Optical Society of America*, en el que, como hemos visto, parece deducirse que la velocidad de la luz depende del movimiento de la fuente, por lo que no es constante. Pero al final del artículo Gopegui explica o traduce las últimas palabras de Kantor

Sin embargo, el autor recomienda la repetición imparcial y objetiva de las experiencias, sin limitaciones de tiempo, ni de medios materiales y económicos, para poder obtener efectos cuantitativos, tanto en las condiciones atmosféricas normales, como en el vacío y con luz monocromática.<sup>19</sup>

En cambio, en el segundo artículo, Gopegui anuncia novedades al respecto, dos reseñas aparecidas en la revista *Nature*, explicando otros tantos experimentos recientes que contradicen las conclusiones de Kantor. Gopegui inserta los dos artículos, con una traducción “cuasi literal” como él mismo indica. Los artículos son “Comprobación terrestre directa del segundo postulado de la relatividad especial” de T. Alvager, Nilson y Jeliman del Instituto de Física de Estocolmo, publicado en *Nature* (vol. 197, 1963, Pág. 1191) y “Alteración de la velocidad de la luz emitida por una fuente en movimiento” de James y Sternberg de la Universidad de Manchester y publicado en *Nature* (vol. 197, Pág. 1192).

El primero consiste en el empleo de radiación gamma, en vez de luz visible, para evitar así los efectos de interacción entre la luz y los objetos propios del experimento. Este efecto de interacción ya fue descrito por Fox en *The American Journal of Physics*, como posible fuente de errores sistemáticos que podrían invalidar el experimento de luz atravesando cristales, como el de Kantor. El experimento de Alvager, Nilson y

---

<sup>19</sup> Gopegui, *INE*, Enero 1963, p. 5.



Jeliman consiste en medir la diferencia de velocidad de radiación emitida por núcleos en retroceso y por núcleos en reposo. A pesar de reconocer que se deberían realizar nuevas comprobaciones más precisas, concluyen (en la transcripción de Gopegui se desarrolla en detalle) que “ya hay elementos de juicio suficientes para adelantar que los resultados de la investigación se encuentran de acuerdo con el segundo postulado de la relatividad especial, y no lo están con el trabajo de W. Kantor”.

El segundo experimento, en cambio, sí es similar al de Kantor, y plantea nuevas hipótesis para explicar la variación de las franjas interferenciales de la luz que atraviesa un cristal en movimiento respecto de otro fijo, concretamente debidos al efecto de arrastre de Fresnel por el cristal que sí lo contempla la relatividad especial. A pesar de estas hipótesis explicativas del experimento de Kantor, con una luz proveniente de un telescopio no pudieron detectar ningún corrimiento.

Sobre estas dos transcripciones Gopegui no realiza ningún comentario o consideración, que deja para el siguiente de 1964. Efectivamente en Octubre de este año, publica el artículo de continuación, en el mismo número en que Palacios publica un resumen de su nueva teoría bajo el título “Propagación de la luz en los sistemas inerciales móviles”. Gopegui cita el propio artículo de Palacios, al que llama sabio, y aclara que la revista *INE* “no se atreve a tomar partido” aunque sí considera necesario mencionar otras informaciones relacionadas con el experimento de Kantor que contradicen la interpretación de Palacios. Así, refiere Gopegui otro artículo de Dingle en *Proceedings of the Royal Society*, donde afirma que las experiencias basadas en procedimientos referenciales, como el de Kantor, pueden conducir a errores en la interpretación de resultados, idea también sostenida por otros como Fox. Además comenta una nota aparecida en *Jour. Opt. Soc. Amer.* que señala errores de cálculo en la interpretación de Kantor.

Aunque ahora Gopegui no los transcribe, cita otros experimentos publicados, como el de Sadeh (de la comisión de energía atómica de Israel) en *Physical Review Letters*, basado en aniquilación de positrones en movimiento donde se emiten rayos gamma y donde se concluye también a favor de la independencia de la radiación respecto de la fuente emisora, es decir contra las conclusiones de Kantor. El siguiente experimento es del mismo tipo del de Kantor, pero realizado de forma más completa, aumentando la sensibilidad del dispositivo de forma significativa alargando el camino óptico e introduciendo el interferómetro en una cámara de vacío. Este trabajo lo realizaron Babcock y Bergman del Michelson Laboratory de California y las conclusiones las publicaron en *Journal of the Optical Society of America*. Los resultados fueron favorables a la independencia de la velocidad de la luz y además pudieron fotografiarse con nitidez, circunstancia que no se pudo dar en el de Kantor.

Palacios no comentó en ninguno de sus múltiples artículos estos cuatro experimentos. De todas formas, no olvidemos que realmente la teoría inicial de Palacios, formulada de forma definitiva en su libro de 1960, también admitía la independencia de la velocidad de la luz. Por todo lo anteriormente indicado no nos deja de sorprender su entusiasmo con el experimento de Kantor. Quizá, esta respuesta de Palacios deja entrever que daba más prioridad a refutar la relatividad einsteniana, que a plantear una nueva teoría alternativa coherente.

Otra polémica interesante es la de Gallego Díaz con Palacios, aunque esta vez no en una revista científica sino en el diario *ABC*. J. Gallego Díaz, matemático y catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid, escribió un artículo en *ABC* ("Einstein tenía razón" 8-11-1963) en el que muestra su desacuerdo con Palacios, al que se refiere como "mi admirado maestro", por la interpretación del experimento de Kantor, que considera "precipitada". Como argumento cita otro experimento realizado por la Comisión de Energía Atómica de Israel, y publicado por D. Sadeh en *Physical Review Letters*, donde se demuestra la independencia de la velocidad de la luz con la velocidad de la fuente emisora. Después de explicar el experimento concluye que "Einstein creó la teoría de la relatividad restringida con fundamentos tan sólidos que hoy ningún físico podría acudir a otros conceptos si en verdad desea conseguir una interpretación coherente del vasto complejo de los hechos observados experimentalmente".

A los pocos días Palacios contesta a Gallego, a quien se refiere también cordialmente como "mi querido amigo y admirado colega", también desde las páginas de *ABC* ("La sinrazón del relativismo, 15-11-1963). El argumento resumido es que el experimento informado por Sadeh realmente no demuestra la constancia de la velocidad de la luz, sino que no la refuta y por lo tanto no se puede tomar como determinante. Insiste que él ha demostrado que con su teoría, exenta de dificultades lógicas, se explican los hechos que implicaban el éxito experimental de la relatividad.

Lo interesante de este artículo es que por primera vez hace referencia, aunque muy breve, al único reparo que han puesto a su teoría científicos como Louis de Broglie y el profesor Temple, y que se basan exclusivamente en que sus ecuaciones de transformación no formaban grupo. Aclara que le resultó fácil demostrar que sus ecuaciones sí cumplían dicho requisito, como el mismo Gallego pudo comprobar. Esta información, de indudable interés histórico (especialmente por la referencia a Louis de Broglie) no se ha visto reflejada en ningún medio salvo este breve artículo de *ABC*, por lo que deduzco que se limita a documentos relativos a correspondencia privada entre Palacios y los científicos citados.

#### 4.8.3. EL DEBATE SOBRE LA PARADOJA DE LOS RELOJES

Aparte de las referencias sobre la paradoja de los relojes por parte de Ortiz Fornaguera, ya analizadas, aludo seguidamente a dos réplicas hacia Palacios, que aunque sin citarlo directamente, se dirigían en parte hacia él, defendiendo la consistencia de la relatividad en este aspecto.

El ingeniero Hipólito Peña Serrano escribió un folleto en 1961, probablemente autoeditado, denominado "Sobre la teoría de la relatividad de Einstein", con un inequívoco subtítulo en cuanto a la intención buscada, "Las objeciones e impugnaciones formuladas contra la teoría de la relatividad de Einstein basadas en la denominada paradoja de los relojes, carecen en absoluto de fundamento". El estilo es algo similar al usado también por Palacios

Algunas de estas objeciones e impugnaciones han sido formuladas con posterioridad al óbito de Einstein, y aun cuando no es posible dudar de la buena fe que las animaba, y con la cual fueron formuladas, se encuentran, por ello, ciertamente, a salvo de la réplica del citado autor de la teoría, y es lo que más nos ha determinado a la rectificación de las mismas, demostrando que todas ellas carecen en absoluto de fundamento, porque los *absurdos* que deducen sus autores y tratan de poner de manifiesto, no existen en realidad y no son otra cosa que el resultado de equivocados razonamientos consecutivos de premisas completamente falsas y en pugna con la correcta aplicación del rigor científico de los verdaderos preceptos de la teoría de la relatividad einsteniana.<sup>20</sup>

Para Peña el problema no puede resolverse en el marco de la relatividad restringida, porque en realidad el observador que viaja y luego vuelve estaría en dos sistemas inerciales y el tiempo de paso de un sistema a otro estaría en un sistema no inercial. En definitiva hay que hacer uso de la relatividad generalizada, demostrando el autor<sup>21</sup> que efectivamente el tiempo para el observador en movimiento es menor que para el fijo. También insiste en que con la teoría einsteniana, no sólo se han explicado fenómenos que no lograba justificar la mecánica clásica, sino que también se han explicado satisfactoriamente resultados de la mecánica cuántica. Este pequeño trabajo de Peña fue reseñado de forma positiva en la *Revista Matemática Hispanoamericana* en la sección de notas bibliográficas.<sup>22</sup>

Otro caso fue el del físico Francisco Morán Samaniego, meteorólogo de prestigio, que escribió un artículo en 1960 sobre la paradoja de los relojes<sup>23</sup> en el que denunciaba el error de los antirrelativistas y sostenía que para resolver la paradoja no era necesario recurrir a la relatividad general, es decir había explicación lógica en el marco de la relatividad restringida. El problema radica en que no es válida la aplicación de las mismas transformaciones de Lorentz en ambos casos porque los relojes pierden la sincronización inicialmente establecida.

Parece ser que Morán estaba preocupado por la obstinación de Palacios, al que por otra parte admiraba sinceramente, y más de una vez comentó que creía que los científicos que habían sido alumnos de Palacios eran los más indicados para intentar convencerle de su error. Como esto no ocurrió, fue el mismo Morán el que se decidió a intervenir, lo que dio lugar a una polémica particular entre los dos destacados científicos sobre este tema.<sup>24</sup>

---

<sup>20</sup> Hipólito Peña Serrano, *Sobre la teoría de la relatividad de Einstein*, Madrid, 1961, p. 3

<sup>21</sup> Peña Serrano, *Ibidem*, págs. 7 a 10.

<sup>22</sup> G.R. "Nota bibliográfica sobre Hipólito Peña Serrano, Sobre la teoría de la relatividad de Einstein", *Revista Matemática Hispanoamericana*, tomo 21, 1962, pág 240.

<sup>23</sup> Francisco Morán Samaniego, "Una explicación elemental de la paradoja de los relojes", *Revista de Geofísica*, nº 73, 1960, p 45- 53.

<sup>24</sup> Información extraída de Manuel Castans Camargo, "D. Francisco Morán Samaniego: Aspectos de su vida y obra", *AME, Boletín informativo y cultural de la Asociación Meteorológica Española*, nº 12, Abril 2006, pág 24.

Por último, me parece oportuno indicar que, de todos los razonamientos que me he planteado para comprobar dónde estaba el posible error de Palacios, así como de toda la literatura consultada sobre este tema, no he encontrado algo tan clarificador y preciso como el análisis que realiza uno de los pocos estudiosos de Palacios, Manuel A. Sellés, por lo que creo de justicia transcribirlo tal cual, ya que el mérito de mostrar el razonamiento correcto es suyo y cualquier resumen o interpretación por mi parte no creo que aporte mayor inteligibilidad al asunto. Suscribo totalmente las palabras de Sellés (pero destaco en negrita las ideas clarificadoras) en las que se refiere a las expresiones obtenidas por Palacios y que inhabilitarían, debido a la famosa paradoja de los relojes, la relatividad einsteniana

Pasemos ahora a considerar el efecto de la dilatación de tiempos. De (3) [las transformaciones de Lorentz] obtenemos las siguientes expresiones:

$$\Delta t = \alpha \Delta t'$$

$$\Delta t' = \alpha \Delta t \quad (4)$$

que conducen al absurdo  $\alpha=1/\alpha$  si sustituimos una en la otra. **Pero aquí esta sustitución ya no es lícita.** La forma adoptada por ambas expresiones está de acuerdo con el principio de reciprocidad, pero **los intervalos temporales que aparecen en una no son comparables –no tienen**, por decirlo de alguna forma, **el mismo sentido físico**- que los que aparecen en la otra. Y aquí se encuentra, en mi opinión, el error de Palacios en el tratamiento de la paradoja, error que, al menos en sus manifestaciones públicas, le conduce a formular su alternativa. **Este error consiste en no distinguir entre los dos intervalos de tiempo de las expresiones (4).**

Veamos por qué dichos intervalos no son comparables. Supongamos un reloj en  $S'$ , que se compara con los relojes de  $S$ . Estos están sincronizados mediante señales luminosas con el reloj patrón situado en el origen de coordenadas de dicho sistema de referencia, tras haber sido transportados a distintas posiciones sobre el eje  $OX$ , que coincidirá con la dirección del movimiento relativo entre ambos sistemas. Para comparar un determinado intervalo de tiempo señalado por el reloj móvil necesitaremos dos relojes distintos en el sistema estacionario, uno situado, digamos, en  $x_1$ , y otro en  $x_2$ . Cuando el reloj móvil pasa frente a  $x_1$ , marca una lectura  $t'_1$ , y el correspondiente reloj estacionario en  $x_1$  señala en ese momento  $t_1$ . Cuando pasa frente a  $x_2$ , el reloj allí situado marca  $t_2$ , mientras que el móvil señala  $t'_2$ . Aplicando las transformaciones de Lorentz, tenemos que

$$t_2 - t_1 = [(t'_2 - t'_1) + v(x'_2 - x'_1) / c^2] / (1 - v^2/c^2)^{1/2}.$$

Como el reloj móvil está fijo en el origen de coordenadas de  $S'$ ,  $x'_2 - x'_1 = 0$  y queda

$$\Delta t = \Delta t' / (1 - v^2/c^2)^{1/2}.$$

Imaginemos ahora la situación inversa. Consideremos ahora estacionario al sistema  $S'$  y móvil al  $S$ , con velocidad  $-v$  respecto del anterior. En este caso comparamos un reloj de  $S$  con dos de  $S'$  situados en distintos puntos y por el mismo razonamiento de antes llegamos a

$\Delta t' = \Delta t / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$ . En el primer caso,  $\Delta t$  representa la duración del intervalo entre dos sucesos que tiene lugar en el mismo punto del sistema S' (paso del origen de S' por  $x_1$  y  $x_2$ ), pero en distintos puntos de S. En el segundo caso es al revés,  $\Delta t$  representa el lapso de tiempo entre dos sucesos que acontecen en el mismo punto de S, pero en distintos puntos de S'. En un caso intervienen dos relojes en S y uno en S', y en el otro dos en S' y uno en S.<sup>25</sup>

Desde el punto de vista teórico, la clave en solventar la supuesta paradoja es considerar el tiempo como una variable en la que su medida, es decir la duración entre dos sucesos, es una de las componentes de una distancia espacio-temporal. En este sentido, otro ejemplo para solventar la paradoja de los relojes, de una sencillez genial, es el siguiente de Alberto Galindo

El tiempo de la relatividad nos confunde con rompecabezas como el de los gemelos. ¿Paradoja? ¿lo es acaso el que el cuentakilómetros de un coche marque distinto cuando se va de Madrid a Barcelona vía Zaragoza que cuando se hace vía Valencia? No, porque estamos familiarizados con que la distancia entre dos puntos depende del camino recorrido para ir del uno al otro. De igual modo hay que mirar al tiempo, como una variable anholónoma, una distancia a lo largo de un camino en un espacio más amplio llamado espacio-tiempo.<sup>26</sup>

Por último, en el manual de Smith aparecido en España como *Relatividad especial* (Ed Reverté, 1969) se propone un interesante experimento ideal, muy ilustrativo, para clarificar la forma de resolver dicha paradoja. En cuanto a experimentos reales sobre dilatación del tiempo de forma directa con relojes, es decir no mediante interpretación de tiempo de vida de partículas inestables, recordemos que hasta 1972 no hubo acuerdo unánime al respecto (Hafele y Keating, *Science*, 1972, pags 166-170) con una prueba comparativa entre relojes atómicos en tierra y en aviones. Hay abundante literatura sobre el tema, por ejemplo, en Clifford M. Will, ¿*Tenía razón Einstein?*

#### 4.8.4. OTRAS APROXIMACIONES AL DEBATE: LA ANFE, BALTÁ ELÍAS Y GARCÍA LAHOZ.

Parece, por la información que nos suministra Leonardo Villena, que en el seno de la ANFE (*Asociación Nacional de Físicos Españoles*) hubo controversias importantes sobre la actitud de Palacios, aunque no se llegaron a hacer públicas. Leonardo Villena, colaborador de Palacios, en 1985 afirmaría respecto al artículo de Palacios "Rehabilitación de Newton" aparecido en el boletín de la ANFE, *Physicalia*, en 1960:

Ante la oposición, dentro del ANFE, a estas ideas yo escribo en el número siguiente un trabajo titulado "Sobre la relatividad", en que tras hacer un

<sup>25</sup> Sellés, "Espacio y tiempo en la teoría de la relatividad de Julio Palacios", *Asceplio*, 1982, p 228. Para los intentos de salvar la paradoja de los relojes en el marco de la relatividad Especial, véase Boya, Luis J. y Mariano Santander, "Paradojas relativistas", *Revista Española de Física*, vol 19, nº 4, 2005, p. 17-24, donde se utilizan argumentos similares a los de Sellés.

boceto histórico de su evolución, indico: “Sea cualquiera el futuro de esta polémica, no hay duda que por grande que haya sido el progreso obtenido mediante la teoría de Einstein y predecesores, y siguiendo la evolución normal para cualquier teoría, llegará el momento en que haya de sustituirse por otras más sencillas o más completas si, como es de esperar, se obtienen nuevos hechos experimentales gracias a las exploraciones cósmicas”.<sup>27</sup>

Recordemos que Leonardo Villena era presidente de la *ANFE*. Esta oposición que indica Villena, con el probable debate asociado que parece lógico se produjera, no se reflejó en *Physicalia*. Sólo apareció un artículo sobre el tema, el indicado anteriormente en el texto seleccionado. En este artículo<sup>28</sup> Villena se muestra ambiguo, indicando que la ciencia y, en particular, la física progresa por “incrementos sucesivos”. Hace un resumen del origen de la relatividad, siguiendo a Whittaker en su libro *History of the Theory of Aether and Electricity*, a la que se consideraba aceptada generalmente hasta que en 1956 Dingle planteó el problema de la paradoja de los relojes.

También merece la pena señalar el caso de José Baltá Elías, que no queriendo entrar en debate directamente, mantuvo una postura al respecto en la que claramente se puede comprobar su falta de sintonía científica con su admirado colega Palacios. Baltá Elías, Doctor en Físicas, era el responsable de la sección de Física de la enciclopedia *Durvan*. Publicó varios artículos relacionados con la relatividad y la figura de Einstein<sup>29</sup> y varias entradas relacionadas con la relatividad en el grueso de la obra y algún apéndice de dicha enciclopedia. De los dos primeros artículos se deduce que no sólo no es crítico con la relatividad, sino que la defiende, en el primero en su relación con la teoría de la radiación y en el segundo en un análisis histórico más global, aunque hacía hincapié en las polémicas conocidas. El tercero, en homenaje a Palacios, recientemente fallecido, no parece tomar partido (aunque sí se intuye su postura pro relativista), destaca el carácter polemista de Palacios, al que, desde luego, admira, pero se observa una profunda creencia en el método experimental para ratificar o refutar teorías, realizando un somero análisis histórico de las pruebas experimentales y el estado actual de dichas pruebas sobre la teoría de la gravitación einsteniana.

En el apéndice de la enciclopedia *Durvan* del año 1971 hay una nueva entrada sobre relatividad, firmada por José Baltá Elías. Se actualiza la información explicando recientes comprobaciones exitosas de la relatividad. Apunta también que en breve plazo se podrá contrastar la teoría de Einstein con la más reciente de Brans y Dicke. De esta última dice que es una teoría de campo escalar ligado con la expansión del Universo, frente a la de Einstein, que es una teoría de campo en la que la gravitación

<sup>26</sup> Galindo Tixaire, Alberto, “Einstein y el tiempo”, *Revista Española de Física*, vol 19, nº1, 2005, p. 67.

<sup>27</sup> Leonardo Villena, “Julio Palacios: labor didáctica, confinamiento y proyección internacional”, *Amigos de la Cultura Científica*, 1985, p 31.

<sup>28</sup> Leonardo Villena, “Sobre la Relatividad”, *Physicalia*, nº 37, Marzo 1960, p. 3 a 7.

<sup>29</sup> Baltá Elías, “Einstein y la teoría de la radiación” *Physicalia*, 1955; “Einstein, físico universal” *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 49, p 103, 1955; “Homenaje a J. Palacios. Intervención de D. José Baltá Elías” *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v64, p 663, 1970.

constituye una propiedad del espacio-tiempo<sup>30</sup>. Es significativo que el autor ni siquiera cita la teoría alternativa de Palacios, aunque sí refiere a unas conferencias de 1970 en Cambridge sobre relatividad general en las que se presentaron algunas variantes de la relatividad que realmente difieren muy poco de la primitiva. Otros dos artículos de Baltá Elías en esta enciclopedia fueron sobre el efecto Mössbauer (t21, p 805) y sobre las ondas gravitatorias (t22, p 860). He considerado conveniente citar aquí estas entradas sobre relatividad, a cargo de Baltá, porque en esta enciclopedia escribió Palacios varias entradas sobre relatividad en los años 60, en las que aprovechaba para atacar la teoría de Einstein. Por lo tanto parece que hubo una cierta intención de la redacción de *Durvan* en corregir los planteamientos de Palacios. De hecho, el propio director de la enciclopedia, Francisco Biosca, publicó una entrada sobre relatividad en el apéndice de 1967 dentro de la ortodoxia científica de la época, es decir sin dudar de su validez.

Por último también cabe destacar la aproximación al debate en torno a la teoría de Palacios realizada por García Lahoz en su escrito “Acerca del corrimiento gravitacional al rojo”<sup>31</sup>. Hay que indicar que aunque esta publicación es de 1972 entra de lleno en el entorno del escaso debate producido en España sobre la propuesta alternativa de Palacios, por lo que considero más conveniente tratarla aquí. Es una carta al editor en contestación al artículo de Herranz y Palacios aparecido el año anterior, donde opina que éstos cometen el error de considerar que en la teoría de Palacios la velocidad de la luz depende del potencial gravitatorio y en la relatividad general de Einstein es constante. El autor demuestra, citando referencias del propio Einstein, que los dos principales resultados de la relatividad general, el corrimiento gravitacional al rojo y la curvatura de la luz a su paso cercano al sol, se relacionan mediante la expresión

$$c \approx c_0 [1 + \frac{1}{2} (2\theta/c^2)],$$

De todas formas García Lahoz resulta ambiguo frente al problema del éter, que yo considero más una cuestión de confusión terminológica que de principios teóricos (como vimos en el apartado dedicado a Palacios), cuando afirma respecto a la ecuación anterior

Puede mencionarse aquí que precisamente este hecho le condujo, como es bien sabido, a restablecer la objetividad del éter que él mismo se había permitido anteriormente soslayar como consecuencia natural de su teoría de la relatividad restringida. La posterior formulación de la relatividad general de Einstein en términos de una métrica no euclídea permite enmascarar la variación de  $c$ , siendo el tensor métrico el que da cuenta de dicha variación.<sup>32</sup>

---

<sup>30</sup> Recordemos, como se vio en el apartado 4.1 que la teoría de Brans-Dicke tuvo un cierto éxito como alternativa a la de Einstein, pero su impacto fue desapareciendo y finalmente no fue asumida por la comunidad científica. Este aspecto se desarrolla en detalle en el libro de Will *¿Tenía razón Einstein?*.

<sup>31</sup> García Lahoz, *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 68A, 1972, p 151-152.

<sup>32</sup> García Lahoz, “Acerca del corrimiento gravitacional al rojo”, *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 68A, 1972, p 152.

Recordemos la confusión al respecto que recuperar la idea del éter no era recuperar la idea de un fluido imponderable que además pudiera servir como referencial absoluto, sino más bien que la métrica del espacio-tiempo permite recuperar la idea de interacción por contigüidad.

García Lahoz incide en que la expresión anterior de Einstein es similar a la teoría de Palacios salvo un factor  $\frac{1}{2}$ .

Además, señala otro error de Herranz, aunque con discreción, al afirmar “al menos que lo hayamos entendido mal”, cuando en el cálculo que realiza Herranz para obtener el corrimiento gravitatorio dice que hace uso de la variabilidad de la velocidad de la luz y en cambio, según Lahoz, en realidad no está haciendo uso de dicho argumento.



#### 4.9. EL ENFOQUE MATEMÁTICO DE LA RELATIVIDAD

En este apartado voy a reflejar las contribuciones de científicos españoles, principalmente matemáticos, sobre diversos aspectos relacionados con la relatividad en los que predomina la visión matemática más que la visión física de las teorías relativistas. He creído conveniente situar en este apartado las cuestiones relativas a temas dimensionales, por haber sido tratadas principalmente por matemáticos, aunque realmente es un problema frontera entre física y matemáticas. Aparte de cuestiones dimensionales, otros trabajos son puramente matemáticos en los que se relaciona algún aspecto con la relatividad y otros tienen la física como tema principal, pero el interés en cuanto a novedad en el tratamiento se centra en aspectos más bien matemáticos.

##### 4.9.1. CUESTIONES DIMENSIONALES DE LA RELATIVIDAD

El matemático español Ricardo San Juan presentó en 1946, a lo largo de varios números de la *Revista de la Academia de Ciencias de Madrid*, un ambicioso y extenso trabajo sobre teoría de magnitudes físicas<sup>1</sup> que aparecería como memoria independiente publicada por la misma academia. San Juan era una autoridad en análisis dimensional, autoridad reconocida por el propio Palacios, otro especialista en este tema, que dedicó una extensa necrológica a San Juan destacando la importancia de su obra<sup>2</sup>. El ensayo de San Juan trata en profundidad la teoría de magnitudes, sus fundamentos algebraicos, el problema de la homogeneidad en las ecuaciones, así como aspectos de espacios métricos y vectoriales relacionados con dicha teoría de magnitudes. A continuación, sólo me voy a referir al tratamiento que realiza San Juan sobre aspectos relacionados directa o indirectamente con la relatividad.

Por ejemplo, al hablar de las aplicaciones de la teoría de grupos a la sistematización de la geometría, su definición teórica del propósito de la geometría está directamente asociada al principio de invariancia:

Una Geometría es el estudio de las propiedades de las figuras o conjunto de elementos de un espacio que son invariantes en las transformaciones de un grupo; o sea de los entes abstractos nacidos del correspondiente criterio de igualdad y de sus relaciones, que constituyen los teoremas. Estos son, pues, relaciones entre los elementos de las figuras que se conservan invariantes por las operaciones de grupo.<sup>3</sup>

San Juan trata el problema de la equivalencia entre masa inerte y gravitatoria (que él denomina masa dinámica y estática respectivamente) de una manera clarificadora

---

<sup>1</sup> Ricardo San Juan "Teoría de las magnitudes físicas y sus fundamentos algebraicos", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 40, 1946, pp 11 a 41, 137 a 184, 423 a 462, v 41, 1947, pp 161 a 194, 299 a 336.

<sup>2</sup> Palacios, "Ricardo San Juan y el Análisis Dimensional", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v64, 1970, p 331-355.

<sup>3</sup> San Juan, "Teoría de las magnitudes físicas y sus fundamentos algebraicos", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 41, 1947, p 299.

respecto a las dudas que planteó Palacios años más tarde. De hecho respecto a este tema San Juan cita el libro de Palacios, *Mecánica Física*, de la edición de 1943 donde todavía no se ponía en cuestión la física relativista ni la equivalencia entre ambas masas (recordemos que en este libro de 1943 Palacios dedica un capítulo a la relatividad, exponiéndola de forma ortodoxa).

Precisamente el planteamiento de San Juan es que la equivalencia entre masa inerte y gravitatoria da lugar a una relación absurda dimensionalmente en física clásica pero que se soluciona con la relativista. La idea es la siguiente: por analogía con las masas inerte y gravitatoria, o dinámica y estática, si se toman simultáneamente ambas fórmulas de la fuerza gravitatoria o estática  $f = kmm'/r^2$  y la inercial o dinámica,  $f = k'ma$ , al identificarse se pueden suprimir las constantes quedando  $mm'/r^2 = ma$ , es decir  $m' = ar^2$  que da un absurdo dimensional, ya que si  $M = L^3T^{-1}$  las dimensiones L, T y M no serían independientes. La solución viene precisamente, según San Juan, por la relatividad general, donde la masa adquiere significado de curvatura del espacio en el universo de Minkowski y el problema dimensional se soluciona con una oportuna generalización de la teoría de dimensiones a las magnitudes tensoriales.

En mi opinión, este razonamiento de San Juan es el que mejor soluciona el problema dimensional planteado por Palacios más tarde sobre la equivalencia entre masa inercial y gravitatoria.

Otro ejemplo clarificador sobre el problema de las dimensiones y su significado físico es el de Luis Hurtado, quien anteriormente, en 1943, advertía de la importancia de no interpretar falsamente las fórmulas de las dimensiones. Estas fórmulas deben servir para prever los resultados de los cambios de unidades y para comprobar la homogeneidad de las ecuaciones físicas en un sistema dado. Por lo tanto las fórmulas dimensionales no deben interpretarse como relaciones algebraicas asociadas a la naturaleza de las magnitudes a las que se refieren.<sup>4</sup> Aquí está la clave del problema de Palacios en sus críticas a la relatividad por cuestiones dimensionales, como la desigualdad de masa gravitatoria e inerte, ya que consideraba las ecuaciones en dimensiones como algebraicas en las que operaba igual que en las ecuaciones normales.

Volviendo a los trabajos de San Juan, éste dedicó un capítulo a los fundamentos teóricos de la homogeneidad y semejanza. Al considerar la necesidad de la homogeneidad dimensional en las ecuaciones, plantea varios ejemplos, entre ellos uno de cinemática relativista que también es clarificador al respecto. El interés está en que se comprueba que San Juan no tiene ninguna duda sobre la validez de la física relativista de Einstein. Además, para el problema de la homogeneidad, San Juan destaca la importancia de los factores de forma en las leyes de la física. Los factores de forma son las razones de cantidades homogéneas y es una de las bases del importante teorema de *pi* en análisis dimensional. Para confirmar lo dicho anteriormente sobre la seguridad de San Juan en la validez de la relatividad, basta con comprobar sus propias palabras en el siguiente párrafo, donde ejemplifica la importancia de los factores de forma:

---

<sup>4</sup> Luis Hurtado, "Magnetismo, electricidad y gravitacion", *Las Ciencias*, nº 4, 1943 p 685-704.

Pero donde se aprecia mejor la trascendencia de tales factores de forma, es al comparar las fórmulas de la Mecánica clásica y relativista restringida, las cuales difieren, como es sabido, en la expresión  $(1 - v^2/c^2)$  con el factor de forma  $v/c$ , que aparece al incluir la velocidad  $c$  de la luz entre las cantidades de todo sistema mecánico, como consecuencia de la genial observación de Einstein de que el tiempo no debe considerarse como un ente absoluto común a todos los observadores, sino como una magnitud medible, igual que cualquier otra, por cada uno mirando a los relojes, esto es, observando sus indicaciones, que se transmiten con velocidad  $c$  independientemente del movimiento del observador o sistema de referencia.<sup>5</sup>

Otro autor que se aproximó a temas dimensionales y de magnitudes, fue Clemente Sáenz García (1897-1973, ingeniero de caminos y matemático, catedrático de geología en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, académico de las Academias de Ciencias de Madrid y Zaragoza), en dos trabajos, uno de 1940 y otro de 1953. En el primero, partiendo de la relación cuantitativa entre las unidades del espacio y tiempo, según la formulación de Minkowski, plantea la necesidad de introducir en la física una cuarta unidad fundamental que debe ser autónoma, la carga electrostática. En cuanto a la relatividad, apoyándose en la relación entre curvatura del espacio-tiempo y densidad de materia intenta lograr la expresión de las magnitudes físicas en función únicamente de la longitud<sup>6</sup>. En el segundo trabajo de 1953, específico sobre unidades físicas, realizó un repaso sobre las diversas magnitudes que aparecen en diferentes disciplinas de la Física, incluyendo la relatividad especial y general.<sup>7</sup> Para Sáenz no hay ningún problema dimensional al respecto (cita los trabajos de Palacios sobre el mismo tema pero de 1941, cuando todavía no había mostrado reticencias sobre la relatividad). El objeto del autor es obtener la máxima simplificación posible de las fórmulas principales de la física basándose en un conjunto de unidades naturales. De esta forma no debe haber más de cuatro constantes universales independientes, número que coincide con el de las dimensiones del espacio-tiempo.

Trata Sáenz García la comodidad de considerar algunas constantes universales, como  $c$ , iguales a la unidad, con una “adecuada elección de los patrones”, con lo que se consigue el “máximo de eficacia y de simplificación”. Al plantear la parte dimensional de la relatividad, considera los casos en que se adopte para  $c$  la unidad. De esta forma, en la cinemática relativista o geometría del espacio-tiempo de Minkowski, que se fundamenta en la invariancia del elemento geodésico diferencial del arco de la línea del Universo de la forma  $ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$ , al considerar  $c$  como unidad, con la correspondiente transformación quedará  $ds'^2 = ds^2 = dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$ , que

---

<sup>5</sup> San Juan, “Teoría de las magnitudes físicas y sus fundamentos algebraicos”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 41, 1946, p 332.

<sup>6</sup> Clemente Sáenz García, “Dimensiones imaginarias de algunas magnitudes físicas”, *Las Ciencias*, año V, 1940, p 293-308.

<sup>7</sup> Clemente Saenz García, “Nuevo ensayo acerca de Unidades físicas”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 47, 1953, p 83- 105.

no es más que la extensión del teorema de Pitágoras a un espacio cuatridimensional con tres coordenadas imaginarias perpendiculares.

Otra simplificación conveniente se puede aplicar, según Sáenz, en el caso de la relatividad general, donde la materia consiste esencialmente en la curvatura del espacio-tiempo, que es una curvatura local y variable propia de las masas. Además, existe otra curvatura general y constante del vacío, que corresponde al hecho de que el espacio sea finito y cerrado. La simplificación anunciada está en manejar una magnitud  $r_M$ , denominada radio de gravitación de la masa  $M$ , que es de la forma  $r_M = KM/c^2$  (esta idea se debe a Weyl, establecida en 1922) y que en las unidades convenientes es de la forma  $r'_M = M'/4\pi$ , lo que indica que una masa determinada equivale numéricamente a la longitud de un círculo máximo de una esfera euclidiana de radio  $2r_M$  y dicha esfera descrita alrededor de  $M$  constituye una barrera infranqueable para los móviles que resulten ser atraídos por la masa.

Fijémonos, aunque Sáenz García no lo comenta, que este planteamiento es similar al establecido por San Juan para solucionar el supuesto problema dimensional que había entre la equivalencia de masa inercial y masa gravitatoria.

También trata la cuestión de las magnitudes en la teoría relativista del campo electromagnético debida a Weyl, donde éste postula un radio de gravitación de una cierta cantidad de electricidad ( $r_Q = \frac{Q}{kc^2\sqrt{\epsilon}}$ ) que debe coincidir con la magnitud de igual denominación aplicada a la masa mecánica equivalente ( $r_M = M/k^2c^2$ ). De esta forma, al igualar ambas cantidades,  $r_Q = r_M$ , tenemos que  $M = \frac{kQ}{\sqrt{\epsilon}}$ . Esta expresión

implica una relación entre unidades de masa y de longitud a través de la equivalencia de densidad y curvatura, de esta forma  $1\text{gr}/\text{cm}^3$  de densidad  $\approx 4\pi/k^2c^2$  o bien  $1\text{gr} \approx 4\pi/k^2c^2 \text{ cm}$ . Aunque no lo indica el autor, en mi opinión y para ser más preciso, esta equivalencia sería más correcto indicarla para densidad de masa gravitatoria, es decir  $1 \text{ gr}$  de masa gravitatoria equivaldrían dimensionalmente a  $4\pi/k^2c^2 \text{ cm}$ .

Igualmente ve Sáenz la necesidad de asociar a la unidad algunas constantes relativas a cuestiones cosmológicas, como la que constituye la medida del radio del

Universo, que según Sitter vale en el vacío  $U = \frac{2M_U\sqrt{3}}{\pi k^2c^2}$  siendo  $M_U$  la cantidad total de materia existente. Al respecto, Eddington estableció el llamado patrón natural ajustado al resultado de dividir  $U$  por  $\sqrt{n}$ , donde  $n$  es el número de protones totales existentes.

El valor de  $a = \frac{U}{\sqrt{n}}$  es entonces  $a = \frac{e^2}{\epsilon mc^2}$  donde  $m$  y  $e$  son, respectivamente, la masa y la carga del electrón. Resulta que cuando se creía al electrón esférico y cargado uniformemente en superficie, el radio del  $e^-$  era  $2/3a$  y cuando se suponía macizo  $6/5a$ , es decir de un orden de magnitud similar.

## 4.9.2. LA RELATIVIDAD COMO MOTOR DE LA MATEMÁTICA

Entre los matemáticos españoles, especialmente los dedicados a la geometría diferencial, como Santaló o Vidal Abascal, predominaba la idea de la importancia de la relatividad como motor de progreso en dicha disciplina matemática. Un ejemplo claro al respecto lo tenemos en Vidal Abascal (1908-1994). Fue director del *Seminario de Estudios Matemáticos* de Santiago de Compostela de 1967 a 1978 y se le considera pionero en el aperturismo matemático internacional en la España de la postguerra. Sus contribuciones en diferentes campos de la matemática se centran principalmente en Astronomía (órbitas de estrellas dobles) y Geometría Diferencial e Integral (curvas y superficies).

En la introducción de un extenso trabajo denominado “Estado actual, métodos y problemas de la geometría diferencial”, aparecido a lo largo de varios números de la *Revista Matemática* durante 1957 y 1958<sup>8</sup>, afirma Vidal Abascal:

Se ha considerado como uno de los hechos más importantes en el estudio de la física ocurridos en el siglo actual, el haber utilizado espacios que incluyen como atributos geométricos las fuerzas de la naturaleza e incluso el devenir del tiempo, considerándolo como una cuarta coordenada. Es bien sabido todos los intentos realizados en esta dirección a partir de la teoría de la relatividad de Einstein, la llamada especial, establecida en 1905, y la general en 1916, que da cuenta de los fenómenos gravitatorios, y cómo se ha tratado de ampliarlas con las llamadas *teorías del campo único*, que den cuenta también de los fenómenos electromagnéticos, para lo cual, y desde 1925, se vienen intentando diversas soluciones. La propuesta por Einstein en 1950 y modificada en 1952 por Schrödinger parece de mayor importancia que las anteriores, aunque es todavía objeto de estudio.

Es de admirar esa genial intuición de los físicos que a partir de Einstein acertaron a construir modelos geométricos para dar cuenta de los fenómenos naturales, pero también conviene señalar que la geometría viene siguiendo el camino inverso añadiendo condiciones a los puntos, tendiendo a considerarlos tan complejos que algún día podrán representar objetos naturales con sus propiedades físicas. Este proceso es lo que pudiera llamarse la *naturalización de la geometría*, frente al que ya nos hemos referido, llamado la *geometrización de la física*.<sup>9</sup>

De hecho, el mismo Abascal, señaló como uno de los periodos más florecientes de la geometría diferencial el iniciado a partir de la relatividad general con el desarrollo de las generalizaciones de los espacios de Riemann, en lo que se ha dado en llamar geometría diferencial moderna<sup>10</sup>. Como parte de esta nueva disciplina se introdujeron

<sup>8</sup> Enrique Vidal Abascal, “Estado actual, métodos y problemas de la geometría diferencial”, *Revista Matemática Hispano-americana*, 1957, p 38-58, 161-170, 238-257, 299-312; 1958, 28-70.

<sup>9</sup> Vidal Abascal, *Ibidem*, p 38.

<sup>10</sup> Enrique Vidal Abascal, “Estado actual, métodos y problemas de la geometría diferencial”, *Revista Matemática Hispano-americana*, 1957, págs 41 y 164.

la geometría proyectiva diferencial, la teoría de grupos y los espacios de Klein, los espacios fibrados y los generalizados de Cartan, así como los invariantes integrales y geometría integral. En estas dos últimas disciplinas hicieron aportaciones importantes Santaló y Vidal Abascal, que extendieron la geometría integral a los espacios de Riemann. Una de estas aplicaciones, como es la teoría de curvas extremales en una integral, tiene también relación directa con la relatividad, en concreto con soluciones particulares de las ecuaciones de campo gravitatorias. Un aspecto relacionado con la extensión de la relatividad general fue la introducción, por parte del matemático francés Cartan, del concepto de torsión en un espacio con un tensor de torsión asociado, idea que, como hemos visto, trataron algunos autores españoles en su intento de elaborar una teoría unificada, como fue el caso de Maravall.

Vidal Abascal también trató en profundidad temas de geometría integral en espacios de Riemann, así como la teoría de geodésicas<sup>11</sup>, sin duda temas matemáticos relacionados con la relatividad<sup>12</sup>. En su desarrollo, Vidal Abascal se basa en teorías de Cartan y Santaló. El mismo Vidal publicó en revistas extranjeras de matemáticas sobre invariantes integrales.

Otra contribución interesante desde el punto de vista matemático es la de J. Ochoa, con su artículo aparecido en *Gaceta Matemática* en 1961, “El grupo de transformaciones de Lorentz”, siendo significativas sus palabras de introducción para justificar su objetivo: “El deseo de divulgar la relatividad restringida, creo yo, ha originado cierto confusiónismo. El objeto de esta nota es deducir, con algún rigor, el grupo de transformaciones de Lorentz”<sup>13</sup>. Efectivamente Ochoa realiza una brillante interpretación matemática del grupo de Lorentz, desarrollando una demostración con rigor deductivo. Se basa en el concepto matemático de extensión de un espacio, por el cual un espacio  $E_n$  es una extensión de un espacio  $E_m$  si se cumplen las siguientes condiciones:

1.  $n$  es mayor que  $m$
2. Si se hace  $x_i=0$  para todo  $i>m$  la expresión de la métrica de  $E_n$ , es decir  $ds^2 = \sum a_{ik} dx_i dx_k$  ( $i,k = 1, \dots, n$ ), se reduce a la misma pero con los valores ( $i,k = 1, \dots, m$ ) y debe coincidir con la métrica del espacio  $E_m$
3. La ampliación  $E_n$  de  $E_m$ , entre todas las posibles, debe ser la más sencilla. Además dicha ampliación debe dar cuenta de fenómenos que no eran explicable en  $E_m$ .

De esta forma se pueden considerar extensiones cuatridimensionales del espacio tridimensional euclídeo en las que se dé un grupo de transformaciones en el espacio  $E_n$  que expliquen el hecho de que la velocidad de la luz es la misma para cualquier sistema de referencia, hecho que es inexplicable en un espacio tridimensional

<sup>11</sup> Las geodésicas son las curvas extremales de la función  $I = \int (\sum g_{ik} dx_i dx_k)^{1/2}$  y la curva extremal de una función cualquiera de primer grado respecto de las  $dx^i$ ,  $L(x, dx) = L(x^1, \dots, x^n, dx^1, \dots, dx^n)$  es la que anula la primera variación de la integral  $\int L(s, dx)$ .

<sup>12</sup> E. Vidal Abascal, “Generalización de los invariantes integrales y aplicación a la geometría integral en los espacios de Klein y de Riemann”, *Collectanea Mathematica*, 1960, p 71-102.

<sup>13</sup> J. Ochoa “El grupo de transformaciones de Lorentz”, *Gaceta Matemática*, v 13, 1961, p 6.

euclídeo. Para que pueda cumplir esta condición se puede demostrar que la métrica del espacio extensión debe ser de la forma

$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + \delta dt^2$ . Desarrollando la transformación para calcular el valor de los coeficientes y de  $\delta$  queda un grupo de transformaciones de la forma<sup>14</sup>

$$x' = \frac{x + vt}{\sqrt{(1-v^2)/(c^2-\delta)}}; y'=y; z'=z; t' = \frac{t + vx/(c^2-\delta)}{\sqrt{(1-v^2)/(c^2-\delta)}}$$

Grupo del que se pueden considerar transformaciones particulares, entre las que la más sencilla es la de Lorentz, con  $\delta=0$ .

El grupo de transformaciones de Lorentz define en el espacio de la relatividad restringida una cierta geometría, la llamada geometría de la luz. Dicha geometría no es una geometría métrica del espacio de la relatividad restringida por no ser las transformaciones de Lorentz movimientos de dicho espacio. Como se quiere dar representatividad física a dichas transformaciones, es decir que representen movimientos, se introduce un espacio cuatridimensional de métrica  $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2$ , al que se conoce como espacio de Minkowski. De esta forma ahora la geometría definida en este espacio por el grupo de Lorentz es una geometría métrica, ya que dichas transformaciones constituyen movimientos del espacio de Minkowski. En definitiva "la introducción del espacio de Minkowski lo único que persigue es proporcionar un modelo métrico a la geometría de la luz".<sup>15</sup>

Otros dos de nuestros protagonistas anteriores en teoría cuántica de campos, Alberto Galindo y Francisco Ynduráin, se aproximaron a temas específicamente matemáticos, lo que en cierta medida es lógico por la fuerte preponderancia de la abstracción matemática en esta disciplina. Ynduráin trabajó sobre la teoría matemática de los grupos de Lorentz<sup>16</sup> y, en colaboración con J.L. Alonso, sobre condiciones de linealidad y continuidad en los grupos de automorfismos<sup>17</sup> causales del espacio-tiempo, tanto curvados como no.<sup>18</sup> Galindo hizo lo propio sobre extensiones del Algebra de Lie a la teoría de grupos de Poincaré.<sup>19</sup>

<sup>14</sup> El desarrollo matemático deductivo es similar a otros.

<sup>15</sup> J. Ochoa "El grupo de transformaciones de Lorentz", *Gaceta Matemática*, v 13, 1961, p 12.

<sup>16</sup> Ynduráin, "Little groups of the (n +1)dimensional Lorentz group", *Nuovo Cimento A*, v 45, 1966, p 239-241.

<sup>17</sup> Un automorfismo hace referencia a una estructura matemática que es isomorfa consigo misma (por ejemplo, los automorfismos de un plano eucídeo son las semejanzas, los de un espacio métrico las isometrías, es decir la aplicación que conserva las distancias entre dos puntos). Un isomorfismo es una aplicación  $f: x \rightarrow y$  entre dos conjuntos,  $x$ ,  $y$  dotados de la misma estructura, de tal forma que cada elemento de  $y$  proviene de un único elemento de  $x$  y la aplicación  $f$  transforma las operaciones que se dan en el conjunto  $x$ , en las operaciones que se dan en  $y$ .

<sup>18</sup> J.L. Alonso y F.J. Ynduráin, "On the Continuity of Causal Automorphisms of Space-Time", *Commun. math. Phys.*, v 4, 1967, p 349-351.

<sup>19</sup> Galindo Tixaire, Alberto, "Lie Algebra Extensions of the Poincare Algebra", *Journal of Mathematical Physics*, v 8, 1967, p 768.

## 4.9.3. LA GEOMETRÍA SIMPLÉCTICA EN TEORÍA DE CAMPOS DE GARCÍA PÉREZ

Un trabajo fundamental sobre el tratamiento matemático dado en España a temas de física relativista es el de Pedro Luis García Pérez, sobre geometría simpléctica en teoría de campos.<sup>20</sup> El autor es actualmente profesor emérito de la Universidad de Salamanca (Catedrático de Geometría y Topología) y Académico de la RACEF y N.

Antes de analizar la interesante aportación de García Pérez, creo necesario realizar una síntesis sobre conceptos matemáticos relacionados con lo desarrollado por el matemático español, como fibrado vectorial y geometría simpléctica.

Un fibrado vectorial es una construcción geométrica en la que a cada punto de un espacio podemos asociar un espacio vectorial de una manera compatible, de modo que todos estos nuevos espacios vectoriales, "pegados juntos", formen a su vez otro espacio. Esta idea es extensible a las variedades diferenciables.

Un ejemplo es el fibrado tangente de una variedad diferenciable, en el que a cada punto de la variedad asociamos el espacio tangente de la variedad en ese punto. Otro ejemplo es considerar una curva diferenciable en  $\mathbb{R}$ , y en cada punto de la curva establecemos la normal de la línea a la curva en ese punto, con lo que tenemos un "fibrado normal" de la curva.

El paso de la mecánica clásica a la teoría cuántica extiende la base de su formulación a nuevas propiedades de relatividad, de simetría y de leyes de conservación, pero necesita del concepto de fibrado o espacio fibrado. El concepto de espacio fibrado, mucho más rico que el espacio clásico, es lo que realiza de forma natural la extensión al nuevo paradigma cuántico. En física cuántica el espacio fibrado es un encaje de dos espacios, uno llamado base, que es un espacio de puntos, y el otro llamado fibra que es el espacio de los grados de libertad interna de los campos cuánticos. Incluso en los casos más sencillos, la fibra no se reduce a un punto, pues un campo cuántico es un campo no de probabilidades, sino de amplitudes de probabilidad (una amplitud de probabilidad es un número complejo cuyo módulo al cuadrado es una probabilidad). La fase en cada punto del espacio-tiempo es un grado de libertad interna y la fibra de un campo escalar es el espacio en el cual se puede cambiar la fase.

La fibra, el espacio interno, es difícil de imaginar, pero se puede visualizar con el símil de la curvatura que se consigue sobre una pelota de ping-pong a la que se ha proporcionado un efecto rotatorio con la pala en el momento del impacto. Además, como la pelota es blanca y pequeña, el espectador no puede apreciar el movimiento circular de la misma que queda reducida a un punto en movimiento. Pero si observáramos la pelota a cámara lenta y con un aumento del tamaño suficientemente considerable, veríamos los dos movimientos, el de traslación y el de rotación debido al efecto en el impacto con la pala. Para los espectadores, todo el espacio contenido en la superficie de la pelota y en su interior se ha convertido en la fibra.

---

<sup>20</sup> García, Pedro L., "Geometría simpléctica en la teoría clásica de campos", *Collectanea Mathematica*, 1968, p 73-134.



En cuanto a la geometría simpléctica, el término simpléctico hace referencia al de entrelazado. Primero hay que considerar la geometría como el estudio de propiedades de conjuntos que están constituidos por puntos en un espacio determinado por unas coordenadas (ejemplos de conjuntos pueden ser un plano, una línea recta o curva, una distancia, una figura, etc), de tal forma que estas propiedades permanecen invariantes ante ciertos grupos de transformaciones de coordenadas. Con esta definición, podemos a su vez definir la geometría simpléctica como la que le corresponde un grupo de transformaciones que dejan invariantes unas propiedades u operaciones denominadas formas simplécticas. Una forma simpléctica es una operación que crea un número a partir de dos vectores de la siguiente forma: Si tenemos unos puntos de un espacio  $E_n$  con puntos  $x$  ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) y dos vectores  $u$  y  $v$  del espacio tangente de  $E_n$ , la operación entre estos dos vectores obtiene un punto  $x'(u, v)$ . Además la forma simpléctica debe ser antisimétrica y bilineal, es decir

$$x'(u, v) = -x'(v, u); \quad x'(u+u', v) = x'(u, v) + x'(u', v); \quad x'(\lambda u, v) = \lambda x'(u, v)$$

La forma simpléctica se puede escribir de la siguiente manera  $x'(u, v) = \sum a_{ij}(x) u_i v_j$  siendo los  $a_{ij}$  las componentes de la forma simpléctica que en realidad son una matriz antisimétrica. Además estas componentes deben cumplir la propiedad siguiente

$$\frac{\partial a_{jk}}{\partial x_i} + \frac{\partial a_{ki}}{\partial x_j} + \frac{\partial a_{ij}}{\partial x_k} = 0.$$

Una vez aclaradas conceptualmente algunas de las ideas clave, ya que matemáticamente se escapa del alcance de este trabajo, se puede ahora comprender el trabajo de García Pérez con mayor claridad. Esta memoria, aparecida en 1968 en la revista del *Seminario Matemático* de la Universidad de Barcelona, es la base de su tesis doctoral en la Facultad de Ciencias de la misma universidad (en 1967) dirigida por el profesor Sancho Guimerá. En realidad es un trabajo matemático, aunque sea de ámbito de aplicación a las teorías físicas de campos. De hecho en los diferentes apartados sigue la estructura de definición, lema, teorema, demostración. Pretende definir la estructura simpléctica subyacente a la teoría clásica de campos, para lo que parte de la dinámica analítica de Hamilton-Jacobi. Se estudian casos de variedades de métricas riemannianas con aplicación en las teorías relativistas, así como en teoría relativista del campo escalar. Para ello se usan los conceptos de fibrado, invariancia gauge y grupos de Lie.

En la formulación de Hamilton-Jacobi de la mecánica clásica el estudio de todo sistema dinámico se basaba en dos tipos de datos, el de estados (conjunto  $X$ ) y el de los observables (conjunto  $A$ ). Los estados son el conjunto de posiciones e impulsos que pueden tener un sistema y los observables las magnitudes dinámicas, como por ejemplo la energía. Cada observable establece una correspondencia de los estados en números reales, de tal forma que el número  $f(x)$  es el resultado de la medida del observable  $f$  en el estado  $x$ . Estas medidas deben tener propiedades de continuidad y diferenciabilidad, lo que implica que la pareja  $(X, A)$  debe ser una variedad diferenciable de dimensión finita, siendo la dimensión igual al número de grados de libertad del sistema. El problema fundamental de la dinámica analítica es ver qué tipo de estructura hay que añadir a una variedad diferenciable  $(X, A)$  para que los puntos de

X sean los estados de posición-impulso de un sistema dinámico. La solución a este problema es añadir una estructura del tipo álgebra de Lie sobre el conjunto A de los observables. Otra solución, dada por Poincaré, consiste en dar sobre la variedad una métrica simpléctica, es decir considerar una variedad simpléctica. Con esto se obtienen unas isometrías de la métrica simpléctica que son equivalentes a las transformaciones canónicas de la mecánica analítica.

Una vez realizada por García Pérez esta síntesis introductoria, nos indica que “el objeto de este trabajo es demostrar, en general, que el esquema simpléctico de la Mecánica, anteriormente esbozado, es válido en Teoría de campos, sin más que sustituir la variedad diferenciable básica, de dimensión finita, de la Mecánica, por una variedad diferenciable de dimensión infinita localmente espacio de Banach”<sup>21</sup>. Según indica García Pérez, trabajos similares a éste que él presenta sólo han sido realizados por el físico francés Segal en el ámbito de la teoría cuántica de campos, donde se estudia el caso de un campo escalar en el espacio-tiempo de Minkowski con una métrica simpléctica concreta.

Formula García Pérez la noción de campo partiendo como dato previo de un fibrado vectorial sobre una variedad diferenciable, variedad que coincide con el espacio de sucesos de las teorías relativistas. El fibrado vectorial viene dado por los posibles estados de vibración del campo en cada suceso.

Se considera la teoría de invariantes de Noether que se aplican para la definición de campo conservativo. En la aplicación a los campos conservativos de la física relativista se contempla una variedad dotada de métrica riemanniana, obteniendo las ecuaciones de Hamilton para el campo. Para completar su teoría debe considerar el problema de las ligaduras (también conocidas como ligaduras *gauge*) que pueden arrastrar al campo.<sup>22</sup>

En la aplicación que realiza a ejemplos concretos, lo hace sobre los campos escalar, mesónico vectorial y electromagnético sobre el espacio-tiempo de Minkowski.

Para el caso del campo escalar libre, este campo se define a partir de un fibrado en el espacio-tiempo de Minkowski, y se demuestra que el campo escalar es invariante bajo un grupo asociado a las transformaciones de coordenadas locales canónicas. Los invariantes correspondientes definen las nociones de impulso-energía y momento cinético del campo escalar libre. Para este caso la métrica usada es una métrica simpléctica, que es la propuesta por otros autores, como Segal, en sus trabajos sobre

---

<sup>21</sup> Un espacio de Banach se define como un espacio vectorial normado completo, es decir cuando un espacio vectorial V sobre el cuerpo de números, tanto reales como complejos, tiene una norma (expresada con el símbolo  $\| \cdot \|$  y cuyo concepto se asocia al de operador norma por el cual se obtiene la longitud de un vector) determinada tal que toda sucesión de Cauchy (una sucesión en la que la distancia entre dos términos se reduce conforme avanza la sucesión) con respecto a la métrica  $d(x,y)=\|x-y\|$  en V tiene un límite en el mismo V.

<sup>22</sup> Permitiéndome un inciso personal con intención clarificadora, es algo equivalente, salvando las distancias, cuando en mecánica clásica se considera la influencia de los planetas exteriores sobre la trayectoria de la Tierra como perturbaciones, que hacen variar infinitesimalmente la trayectoria elíptica inicialmente calculada como si sólo existiera el Sol. De hecho, el origen de la geometría simpléctica es la simplificación del caso de los n-cuerpos en mecánica clásica, donde se considera primero la interacción de dos cuerpos y después la de los otros como perturbaciones que modifican la solución obtenida inicialmente. Este es un caso típico de mecánica celeste.

cuantificación de campos escalares. Demuestra también que la teoría asociada al campo escalar considerado es relativísticamente invariante.

Los campos mesónico vectorial y electromagnético se definen a partir de un mismo fibrado, aunque con la distinción de  $m=0$  para el campo electromagnético y  $m\neq 0$  para el mesónico. Igualmente demuestra la invarianza relativista de dichos campos para los grupos de transformaciones definidos. A partir de la formulación matemática de los campos fibrados se obtienen las conocidas ecuaciones de Maxwell.

Por último, plantea García Pérez el problema de dotar al espacio de una norma que sea compatible con la invarianza relativista de la teoría.

En otro trabajo<sup>23</sup> García Pérez realiza un análisis de la teoría clásica de campos a partir de los métodos generales del artículo anterior. Partiendo del método general establecido, lo aplica para teorías de campos sobre el espacio-tiempo de Minkowski. Aplicando la condición de dejar invariantes bajo el grupo de Poincaré todos los elementos del Algebra de Lie, se concreta la condición para los invariantes cinemáticos del campo, como impulso-energía momento angular, llegando al tipo particular de transformación por el que se interesa la física. El problema fundamental que se plantea es si existe un tipo de transformación única para cada campo concreto, como por ejemplo el campo escalar, el mesónico vectorial y el de Dirac. Del análisis detallado concluye que sí se cumple para los dos casos primeros, y para el campo de Dirac no se cumple la condición de conjugación de la carga.

---

<sup>23</sup> Pedro L. García, "Estructura compleja en la teoría clásica de campos", *Collectanea Mathematica*, 1968, p 155-175, (realizado en el Seminario de Física Matemática de la Universidad de Barcelona, bajo dirección del profesor J. Sancho).

#### 4.10. ASTRONOMÍA Y RELATIVIDAD EN ESPAÑA EN EL PERIODO 1939-1969.

Hemos visto anteriormente que la relatividad tuvo un renacimiento en la comunidad científica internacional con el auge de la radioastronomía y los descubrimientos de fenómenos astronómicos como los cuasares y los púlsares, así como el estudio de la radiación cósmica. Pues bien, los astrónomos españoles se hicieron eco de estos fenómenos a lo largo de los años, de tal forma que, aunque en general no trataron directamente cuestiones de relatividad relacionadas con astronomía con artículos originales o específicos, se puede afirmar que en todos los casos en que indirectamente aparecían conceptos o fenómenos relacionados con la relatividad, ésta se asumía como cuerpo de doctrina sin ningún ápice de duda sobre la misma. Por ejemplo, se asumían las explicaciones teóricas en torno a la radiación cósmica, las características de las enanas blancas, los cuásares y los púlsares que incluían los fenómenos relativistas como parte de dichas explicaciones. Los principales medios que reflejaron estas contribuciones de autores españoles fueron *Urania*, la revista de la Sociedad Astronómica de España y América (en adelante SADEYA), la revista *Aster*, de la agrupación astronómica de Barcelona, así como los boletines de los diversos observatorios astronómicos, destacando el de Madrid. Igualmente la revista *Las Ciencias* también reflejó trabajos sobre astronomía en los que indirectamente aparecían temas sobre relatividad.

Aunque España tenía un nivel aceptable en cuanto a observaciones astronómicas, gracias a la existencia de varios observatorios, ninguna de estas observaciones podían estar encaminadas a comprobación de efectos relativistas, ya que en nuestro país no había radiotelescopios ni la capacidad de los observatorios era la adecuada. Pero en cambio, nuestros astrónomos mostraron un interés generalizado por el seguimiento de las informaciones provenientes del exterior sobre observaciones asociadas a comprobación de efectos relativistas. De hecho se publicaron multitud de escritos al respecto. Los diferentes temas de astronomía en los que aparecen referencias sobre relatividad son la radiación cósmica, las teorías sobre enanas blancas, cuásares y púlsares, espectroscopia astronómica, explicación del efecto sincrotrón y, en menor medida, la detección de ondas gravitatorias, así como una posible detección de achatamiento del disco solar que implicaría teorías alternativas a la gravitación einsteniana posteriormente descartadas. Todo esto lo vamos a ver en detalle a continuación.

##### 4.10.1. DIVULGACIÓN DE NOVEDADES (PALUZÍE, GULLÓN, BALTÁ Y OTROS)

Del temprano interés de los astrónomos españoles por cuestiones actuales de la época, que apuntaban a la relatividad, es un buen ejemplo Wenceslao Benítez, quien fuera director del observatorio de la marina de San Fernando. En 1943 publicó un riguroso artículo<sup>1</sup> sobre dinámica estelar, estructura de galaxias, así como sobre

---

<sup>1</sup> Wenceslao Benítez, "El universo sideral", *Las Ciencias*, nº 3, 1943, p 505-534.

interpretación de la espectroscopia astronómica. Trata en detalle los cálculos de la expansión del Universo de Hubble, advirtiendo de la dificultad de una correcta interpretación del corrimiento al rojo debido a otros posibles factores como campos magnéticos o presiones de los gases interestelares.

Otro aspecto relacionado con la relatividad, el de la equivalencia masa-energía mediante la famosa ecuación  $E=mc^2$ , también fue objeto de tratamiento en temas de estructura y funcionamiento internos de las estrellas. Son los casos de Gullón<sup>2</sup> y Enrique Gastardi<sup>3</sup> en trabajos de química y física nuclear para explicar la estructura interna de las estrellas.

En 1945, en sendos artículos de Ramón Parés y Antonio Paluzié aparecidos en *Urania*<sup>4</sup> se destacaba la importancia de las observaciones astronómicas del satélite de Sirio para ratificar experimentalmente una de las pruebas de la relatividad general, el corrimiento al rojo del espectro por efectos gravitatorios. Entre la descripción de efectos físicos de mayor importancia en Astronomía se destaca el efecto Einstein que “consiste en la desviación de las rayas hacia el rojo cuando la luz emitida pasa por un campo gravitatorio. Pues de la relatividad generalizada se deduce que en uno de estos campos los quanta de luz han de poseer cierta energía potencial. Para el campo gravitatorio solar este efecto está en los límites de lo observable y para el satélite de Sirio es 30 veces mayor. El efecto Einstein fue comprobado en 1924 por el astrónomo Adams”<sup>5</sup>.

El escrito de Antonio Paluzié (1899-1984), quien fuera secretario de SADEYA y director de la agrupación astronómica española, así como reconocido internacionalmente como experto en astronomía lunar, es una necrológica con motivo de la muerte de Eddington. Llama la atención porque se destaca la labor divulgadora y científica de Eddington sobre la relatividad. Aunque el físico inglés fuera reconocido tanto por su dirección de las famosas observaciones de 1919, como por su propuesta cosmológica de un modelo en expansión (que inicialmente podía haber sido estable, según el establecido por Einstein, pero que un factor perturbador implicara la expansión) quiere Paluzié señalar la importancia de Eddington en otro aspecto en principio secundario y menos conocido: su sugerencia de que se podía demostrar el corrimiento al rojo gravitatorio con la observación de la estrella enana blanca satélite de Sirio. De sus obras destaca Paluzié *New Pathways in Science* (1938) en la que inicia la síntesis de la teoría electrónica con la del Universo en expansión, que desarrolla matemáticamente en *Relativity Theory of Protons and Electrons* (1936).

El problema teórico que implicaba las estrellas enanas blancas fue tratado en detalle por Enrique Gullón de Senespleda (1903-1969), licenciado en ciencias por las secciones de física y matemáticas de la Universidad de Madrid, Doctor en físicas en 1931 y catedrático de astronomía. Fue subdirector del Observatorio Astronómico de

<sup>2</sup> E. Gullón, “El origen del calor solar”, *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1946*, 1945, p 297-361.

<sup>3</sup> E. Gastardi, “La evolución estelar”, *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1950*, 1949, p 297-377.

<sup>4</sup> Ramón Parés, “Los efectos físicos de mayor importancia en astrofísica”, *Urania*, 1945, p23-26.

Antonio Paluzié Borrell, “Sir Arthur S. Eddington (1882-1944)”, *Urania*, 1945, p 68-70.

<sup>5</sup> Ramón Parés, *Ibidem*, pág 24.

Madrid y reconocido astrónomo especialista en astronomía solar. Publicó en 1957 y 1961 dos interesantes artículos<sup>6</sup> en los que se hace necesario recurrir a los principios relativistas para la explicación de la estructura de las enanas blancas. Como bien dice Gullón, “el tema de las estrellas enanas blancas es uno de los más sugestivos de la Astronomía moderna” y la historia de su descubrimiento, en concreto la primera enana blanca como estrella satélite de Sirio, resulta apasionante, como nos hace partícipes, pero no me centraré en este interesante aspecto histórico, sino en las explicaciones sobre su estructura, estado y composición basadas en la relatividad. En realidad Gullón no se basa en ningún trabajo original realizado en España, sino en el de las muchas hipótesis de explicación teórica dadas por científicos extranjeros, de las que nos da completas referencias.

Ahora se sabe que las enanas blancas son estrellas en su última fase de evolución estelar, que están irradiando la última parte de su energía, con una masa aproximada a la del Sol pero un volumen como el de la Tierra, es decir con un campo gravitatorio muy intenso con el que se puede comprobar el desplazamiento al rojo gravitatorio (una de las predicciones de la relatividad general) que predomina frente al desplazamiento al rojo por efecto Doppler. Aunque ya en 1862 se descubrió un astro girando alrededor de Sirio, al que se denominó Sirio B o satélite de Sirio, no fue hasta 1931, por parte del astrónomo Chandrasekhar, que se determinaron los datos característicos de las enanas blancas. Del análisis que realiza Gullón sobre las diferentes hipótesis queda claro que tiene asumido los principios relativistas, tanto los de la teoría especial en lo concerniente a las reacciones nucleares, como los de la general en lo concerniente a la gravitación. Al analizar los problemas teóricos de interpretación relacionados con este tipo de estrellas, en concreto sobre la determinación de las órbitas de Sirio y Sirio B (que luego se caracterizaría como enana blanca) se comprobó que no era sostenible la interpretación del espectro de Sirio B (con claro corrimiento al rojo) basándose exclusivamente en el efecto Doppler. El motivo era que no había concordancia entre la explicación basada en el efecto Doppler y las velocidades radiales de los dos astros según las observaciones. La explicación del corrimiento del espectro, nos explica el autor, la daba la teoría relativista. Veamos sus propias palabras:

Hay, pues que buscar otro fenómeno que explique este aparente desacuerdo.

La razón de ello la da la teoría relativista: un fotón emitido en la superficie del astro tiene un equivalente de masa dado por el cociente de dividir su energía por el cuadrado de la velocidad de la luz. Multiplicando, por tanto, esta masa por la diferencia de potenciales gravitatorios entre la superficie de la estrella y el lugar en que la radiación se capta, se calcula la energía que se emplea entre el transporte de este fotón del astro al observador, energía que sumada a la de la radiación que se recibe da la energía del fotón en la superficie de la estrella. Cuando el campo gravitatorio no es muy fuerte la energía empleada en el transporte del fotón es muy pequeña y la frecuencia recibida coincide sensiblemente con la predicha espectroscópicamente

---

<sup>6</sup> Enrique Gullon, “Las estrellas enanas blancas”, *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para* 1958, 1957, p 311-360; “Las estrellas enanas blancas”, *Urania*, nº 254, 1961, p.167-182.

dadas las características del átomo emisor. Esto es lo que sucede en el caso del Sol, pues el desplazamiento de las rayas hacia el rojo en su espectro (frecuencia recibida menor) es de algo más de una centésima de angstrom, equivalente a una velocidad radial ficticia de alejamiento de 0,6 Km/sg. Sin embargo, en el caso de Sirio B, el valor de su masa unido a la pequeñez de su radio dan un potencial gravitatorio tan intenso que el desplazamiento de las rayas equivale a una velocidad de alejamiento de 19,3 Km/sg, en muy buen acuerdo con el valor encontrado por la observación, teniendo en cuenta que las observaciones espectrográficas de las enanas blancas son muy delicadas y privativas de los aparatos de grandes aberturas. Este resultado va ya corregido.

Queda así explicada la aparente discrepancia entre las velocidades radiales que se obtenían para el par de Sirio a partir de uno y otro componente y confirmada además una de las consecuencias relativistas más interesantes.<sup>7</sup>

Gullón destaca otro aspecto importante de la relatividad general, como es el hacer uso de sus ecuaciones para calcular parámetros importantes en Astronomía. Así, la medida del desplazamiento de las rayas espectrales al rojo nos da un medio, en el caso de que dos estrellas formen un par, para calcular la masa de la enana blanca (de la que no tenemos información visual de magnitud de brillo tan directa como de la otra estrella, Sirio). Este es un aspecto crucial de validez de la relatividad general, porque permitía realizar predicciones sobre aspectos concretos como el cálculo de la masa de algunos astros.

Nos explica también cómo se llegó a la conclusión, basada en cuestiones de física cuántica, de que las enanas blancas están compuestas de gas degenerado, es decir núcleos atómicos y electrones libres de sus respectivos átomos (de forma similar a un metal), donde no son aplicables las leyes de distribución maxwellianas ni la ecuación de gases perfectos. Con esta hipótesis, Chandrasekhar calculó las ecuaciones de estado (presión y densidad) de un gas electrónico fuertemente degenerado, ecuaciones que deben contemplar los efectos relativistas debido a la gran velocidad con que se deben mover los electrones en el caso supuesto.

Uno de los mejores astrónomos españoles, Juan J. de Orús Navarro, que pertenecía a la sección astronómica del observatorio Fabra y fue profesor de astronomía en la Universidad de Barcelona, trabajó sobre temas de dinámica estelar basada en la teoría de Chandrasekhar, uno de los mayores expertos mundiales en astrofísica relativista. En su tesis doctoral,<sup>8</sup> Orús aplicó las ecuaciones diferenciales de Chandrasekhar para obtener, mediante cálculo tensorial (lo que era novedad en la teoría de dinámica estelar), unas ecuaciones que explican la forma y dinámica de las nebulosas extragalácticas, en uno de los mejores trabajos originales de la astronomía española.

---

<sup>7</sup> Enrique Gullon, "Las estrellas enanas blancas", *Urania*, nº 254, 1961, p. 321.

<sup>8</sup> Orús Navarro, *Contribución a la teoría de Chandrasekhar sobre la dinámica de los sistemas estelares*, tesis inédita, 1951, Universidad de Barcelona (hay un ejemplar disponible en la UCM). Apareció una síntesis hecha por el autor en *Collectanea Mathematica*, 1952, p 121-149.

También fue premiado por su obra *La forma de las nebulosas extragalácticas*<sup>9</sup>, en la que profundiza sobre lo desarrollado en sus tesis, en concreto desarrolla, valiéndose de nuevo del cálculo tensorial, la teoría hidrodinámica de continuidad y movimiento asociada al problema de dichas nebulosas. La obtención de las ecuaciones diferenciales de Chandrasekhar de dinámica estelar parte de la función de distribución de tipo Schwarzschild. Aunque realmente estos trabajos de Orús<sup>10</sup> no estaban encaminados hacia la relatividad, su alto grado de conocimiento de la propuesta de Chandrasekhar, le situaba como astrónomo en el marco de la ciencia “normal” de la época, como se puede comprobar en sus *Apuntes de astronomía*<sup>11</sup> de 1966, una obra de referencia sobre astronomía a nivel universitario, donde trata puntualmente aspectos de relatividad. Por ejemplo, en el cálculo clásico (no relativista) de la precesión y nutación de la Tierra debidas a la acción que ejercen sobre ésta los momentos de astros perturbadores, indica Orús que se debe contemplar una corrección relativista del orden de 0,02” por año. Esta corrección relativista se puede englobar en la precesión lunisolar, que es del orden de 50,37”, por lo que está dentro del margen de error experimental y, por tanto, se puede despreciar<sup>12</sup>.

Sobre la radiación cósmica se hicieron multitud de referencias en diferentes artículos a lo largo de los años. Alejandro Duperier era el mayor experto español en rayos cósmicos y una autoridad mundial en la materia, habiendo publicado artículos clave sobre esta disciplina en su estancia en Inglaterra, aunque ninguno de sus trabajos se relacionó, ni siquiera indirectamente con la relatividad, motivo por el que no lo trato aquí. El estudio de los rayos cósmicos está directamente asociado con la disminución de la corta vida media de las partículas cósmicas, lo que se asocia al fenómeno relativista de la dilatación temporal. Un buen ejemplo de este tratamiento en España es el trabajo, en 1952, de Federico Armenter Monasterio, “Recientes estudios sobre la radiación cósmica”<sup>13</sup>.

Un autor que, sin ser astrónomo profesional, realizó interesantes contribuciones de tipo histórico, de divulgación e interpretación sobre la radioastronomía fue Baltá Elías, ya citado anteriormente. En 1953 presentó un detallado repaso<sup>14</sup> de la situación de la radioastronomía, es decir la detección de radiación no visible mediante telescopios, denominados radiotelescopios, que permitía, por ejemplo, la detección de estrellas prácticamente invisibles pero que producen emisiones radioeléctricas, o la radiación

---

<sup>9</sup> J.J. de Orús Navarro, *La forma de las nebulosas extragalácticas*, (Premio Alfonso el Sabio 1951, CSIC), Seminario Matemático de Barcelona, Madrid, 1961. También aparece un resumen con el mismo título en *Urania*, 1950, p 138-140.

<sup>10</sup> Juan J. de Orús Navarro, “la forma de las nebulosas extragalácticas”, *Urania*, 1950, p 138-140; “Contribución a la teoría de Chandrasekhar sobre la dinámica de los sistemas estelares”, *Collectanea Mathematica*, 1952, p 121-149; “Las dimensiones de las nebulosas extragalácticas”, *Urania*, 1952, p 193-197. Referencias sobre la importancia de la contribución de Orús aparecen en Armenter de Monasterio, “Progresos realizados en la investigación astronómica durante el año 1950”, *Urania*, 1951, p 162-183; Barangué, “Ideas cosmológicas actuales”, *Urania*, 1951, p 197-20.

<sup>11</sup> Orús Navarro, *Apuntes de astronomía*, Facultad de Ciencias, Universidad de Barcelona, 1966

<sup>12</sup> Orús Navarro, *Ibidem*, 1966, p. 82

<sup>13</sup> Federico Armenter Monasterio, “Recientes estudios sobre la radiación cósmica”, *Las Ciencias*, 1952, p 209-238.

<sup>14</sup> Baltá Elías, “Recientes progresos en Radioastronomía. Radiación solar hiperfrecuente”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 47, 1953, p 195-240.



de fondo del Universo. Hubo en la época diferentes especulaciones sobre el motivo de tales emisiones radioeléctricas. Las hipótesis eran las siguientes:

- Los electrones libres radian en los espacios estelares comportándose como osciladores clásicos.
- La radiación se debe al tránsito entre estados libres de electrones dentro de la acción del campo de un protón, teoría basada en la formulación cuántico-ondulatoria establecida por Sommerfeld, que está relacionada con la teoría de la radiación clásica de electrones en el seno de un campo magnético establecida por Heaviside y Abraham en 1903, pero actualizada por otros investigadores mediante una explicación de dicha radiación debida a electrones relativistas. Para ello refiere Baltá el libro de Alfvén, *Cosmical Electrodynamics* (Oxford, 1950).
- Otras hipótesis relacionadas con dispersión, por parte de electrones de los espacios interestelares, de la radiación procedente de las estrellas, o bien grandes erupciones de estrellas similares a las manchas solares.
- Destaca una última hipótesis, que valora Baltá por su originalidad, establecida por el astrónomo holandés Hulst en 1945, hipótesis que está relacionada con la interpretación de la estructura fina de las rayas espectrales establecida por Sommerfeld (recordemos que esta interpretación está asociada a la aplicación relativista de la mecánica cuántica).

En definitiva, en las cuestiones de radioastronomía está presente la física relativista de forma indudable, aspecto que, por ejemplo, Palacios eludió en su teoría alternativa.

Baltá analizó en detalle cuestiones técnicas de radiotelescopios, problemas de medida, etc, aspectos que no me parece pertinente tratar por estar fuera del objetivo que nos interesa, pero sobre la importancia de la radioastronomía para la física teórica y por lo tanto la relatividad, realiza Baltá una reflexión que creo interesante transcribir:

A través de este breve resumen sobre el estado actual de las investigaciones que abarca la Radioastronomía, puede columbrarse los fascinadores horizontes abiertos por esta nueva Ciencia. Su brillante porvenir está ligado al de diversas ramas de la Astrofísica que, gracias al imponente arsenal de datos empíricos suministrados por técnicas de observación extraordinariamente refinadas, ofrece la necesaria base y puntos de apoyo a las especulaciones teóricas.<sup>15</sup>

Sobre la importancia de la radioastronomía también reflexionaron otros científicos españoles, como José Pensado, Antonio Due Rojo, José María Codina Vidal, Joaquín Febrer Cambó, o Antonio Paluzié, entre otros. En aspectos más concretas de la radioastronomía, como el estudio de los cuásares, cabe destacar los escritos de José María Torroja, en espectroscopia astronómica son interesantes las aportaciones de Lopez Arroyo o R. Velasco<sup>16</sup>. Otra ejemplo destacable es el de José Pensado, que

---

<sup>15</sup> Baltá Elías, *Ibídem*, 1953, pág 203.

<sup>16</sup> R. Velasco, "La espectroscopia y el desarrollo de la ciencia actual", *Las Ciencias*, 1963, p 337- 349. Es un brillante artículo en el que resume las diferentes aplicaciones de la espectroscopia, tanto atómica como astronómica.

profundizó sobre el origen de esta disciplina, cuestiones técnicas de los radiotelescopios, la importancia de las medidas obtenidas, observación de galaxias, comprobación de la expansión de éstas, el estudio de la materia interestelar, del espectro del hidrógeno de las estrellas, del sol, etc<sup>17</sup>.

Uno de los aspectos en los que se mostró la solidez de la relatividad, relacionado con las observaciones radioastronómicas, fue la explicación de la radiación sincrotrón<sup>18</sup>. En concreto esta teoría fue tratada en detalle por Baltá Elías<sup>19</sup> y por José María Codina Vidal<sup>20</sup>. También, aunque en menor medida, por Antonio Due Rojo<sup>21</sup>.

Según nos informa Baltá Elías, hay dos tipos de emisión radioeléctrica procedentes del espacio: la radiación de ruido de fondo que tiene su origen en los electrones fuertemente acelerados (como en el caso de la Nebulosa del cangrejo) y la emisión discreta en determinadas frecuencias como la del hidrógeno debido a la presencia de esta molécula en el espacio. Se ha sabido que muchas de las radiofuentes son sistemas galácticos muy lejanos y la radioemisión se considera con gran probabilidad debida al fenómeno conocido como sincrotrón, es decir el movimiento de electrones relativistas en el seno de un campo magnético. Esto apunta hacia la dirección de un universo en expansión, por lo que relacionado con este problema hay que considerar los modelos cosmológicos, como el de creación continua de materia adaptando las ecuaciones de la relatividad general para su consistencia matemática. Baltá no está de acuerdo con este modelo de creación continua porque opina que está en contradicción con el sentido evolucionista de la relatividad general.<sup>22</sup>

Otro problema que llevó a la hipótesis de la radiación sincrotrón fue, como el mismo Baltá denomina, el de “las enigmáticas emisiones radioeléctricas al azar del planeta Júpiter”, en otro ejemplo en el que, para interpretación de observaciones astrofísicas, se requería aplicar teorías implícitas de la relatividad y del que nos informa Baltá en un excelente artículo<sup>23</sup>. En 1954 se descubrieron ráfagas irregulares de ondas radioeléctricas procedentes de Júpiter, lo que dio lugar a planteamientos de hipótesis

<sup>17</sup> José Pensado, “Radioastronomía”, *Las Ciencias*, 1962, p 380-393.

<sup>18</sup> Radiación sincrotrón: Es la radiación electromagnética emitida por electrones acelerados en el seno de un campo magnético variable, radiación que es consecuencia de la aceleración centrípeta de los electrones en el campo magnético. Cuando la energía adquirida por los electrones es del orden de 1 GeV, adquieren velocidades relativistas, y emiten un espectro casi continuo con gran número de armónicos de la frecuencia fundamental (la que le corresponde a la de su órbita, es decir para electrones de baja velocidad) y una frecuencia de corte que puede estar en el ultravioleta o incluso en los rayos X. Además la radiación sincrotrón esta polarizada con el campo eléctrico en el plano de la órbita. Todo esto se explica con la mecánica cuántica relativista y se ha comprobado en los aceleradores de partículas (aceleradas con campos eléctricos alternos) en los que con un campo magnético se guía a las partículas cargadas en un camino cerrado. Los aceleradores pueden ser tipo ciclotrón (campo magnético constante) o sincrotrón (campo magnético variable en el tiempo). Todo lo anterior explica la importancia que tiene en el ámbito de la física relativista la detección, mediante radioastronomía, de fenómenos que inducen a postular radiación tipo sincrotrón en los astros observados.

<sup>19</sup> José Baltá Elías, “Fundamentos de radioastronomía”, *Aster*, nº 125, 1963, p 18-29; “Las enigmáticas emisiones radioeléctricas al azar del planeta Jupiter”, *Urania*, 1963, p 129-148; “Recientes progresos en el conocimiento de la radiación cósmica. Constitución química y energética de los rayos cósmicos”, *Las Ciencias*, 1965, p 171-182.

<sup>20</sup> Codina Vidal, “La investigación radioastronómica en las longitudes de onda centimétricas”, *Memorias de la Real Acad. Ciencias y Artes de Barcelona*, v 35, nº 3, 1964, p 71-132.

<sup>21</sup> Antonio Due Rojo, “investigacion galactica moderna”, *Las Ciencias*, 1963 p169-184.

<sup>22</sup> Baltá Elías, “Fundamentos de radioastronomía”, *Aster*, nº 125, 1963, p 18-29.

<sup>23</sup> Baltá Elías, “Las enigmáticas emisiones radioeléctricas al azar del planeta Jupiter”, *Urania*, 1963, p 129-148.

sobre la composición de Júpiter. Era otro caso de datos no observables en longitudes de onda ópticas, pero que sí lo eran en cambio en ondas de radio detectadas gracias al reciente desarrollo de la radioastronomía.

En 1958 se detectó en la banda de microondas una emisión “supertérmica” que posteriormente se comprobó que correspondía a una intensa radiación corpuscular. Estas ráfagas de ondas fueron estudiadas, tanto experimentalmente como con hipótesis teóricas, con bastante asiduidad por esos años por científicos como Warwick y otros del *California Institute of Technology*. Después de años de investigación se concluyó que Júpiter emitía ondas cortas (longitud de onda menor que 5 cm) de origen térmico y ondas decimétricas y decamétricas de origen no térmico. El origen térmico de ondas radioeléctricas se sabía que eran producidas por un gas ionizado (en estado de plasma) y su explicación teórica era conocida, siendo del mismo tipo que la teoría de emisión establecida por Planck, en la que se asocia la energía emitida por un gas a una temperatura determinada. Del resto de radiación se sabía que no era de origen térmico porque no se extendía uniformemente en un margen concreto de frecuencias, sino que eran ráfagas irregulares y con intensidad y frecuencia variable en un rango mayor del caso de origen térmico, lo que descarta la radiación térmica.

El problema teórico era determinar el motivo de la radiación no térmica y aquí es donde entran en juego los factores relativistas. Lo curioso es que era una hipótesis teórica ya establecida anteriormente. Baltá hace un repaso histórico por la cuestión, indicando que ya en 1912 Schott la planteó, pero fue olvidada hasta que a finales de los años 40 varios científicos soviéticos recuperaron la idea y profundizaron en el análisis del problema, aunque estas contribuciones tardaron en difundirse en América y Europa Occidental.

La hipótesis teórica es la siguiente: una partícula no relativista al moverse en el seno de un campo magnético uniforme se “enrosca” alrededor de sus líneas de campo avanzando con una trayectoria helicoidal de radio  $r=mv/eB$ . La frecuencia angular viene dada por la fórmula de Larmor  $\omega=eB/mc$ . A su vez la partícula radia como un dipolo con frecuencia  $\nu=eB/2\pi mc$ . Por ejemplo para un electrón en un campo de 1000 gauss se obtiene una longitud de onda de 10 cm y si el campo es de 50 gauss,  $\lambda=2$  metros.

En cambio, esta radiación de los electrones no se cumple si tienen velocidades relativistas, ya que las ondas son anisótropas. Aplicando las correcciones relativistas a las fórmulas de la frecuencia de radiación en un campo magnético se concluye que la radiación emitida está contenida en un cono cuyo ángulo en el vértice es  $\theta \approx 1'$ , luego esto indica que el electrón sólo radiará en direcciones próximas a las de su trayectoria (considerando ésta de forma instantánea, ya que lógicamente va variando). Por lo tanto, un observador situado en el plano de la órbita circular descrita por el electrón solamente recibirá su radiación cuando la dirección de la trayectoria de dicho electrón esté dirigida hacia el observador, con lo que éste sólo recibirá impulsos de radiación durante un tiempo determinado, dado por la expresión  $\Delta t \approx r\theta /c$ . Esta radiación será pues un conjunto de armónicos de la frecuencia fundamental del caso no relativista, con lo que el espectro es mucho mayor pero con intensidad variable según las frecuencias y además con detección irregular de las mismas. La radiación tipo de los

electrones no relativistas se denomina radiación ciclotrónica y la de los relativistas sincrotrónica.

Una vez explicada esta teoría, Baltá plantea ahora las diversas tentativas de explicación de la radiación de Júpiter. Una de las más solventes parece ser que Júpiter posea una ionosfera similar a la de la Tierra y que en su interior haya algún mecanismo (desconocido) productor de un campo magnético muy intenso.

De esta teoría sobre la radiación de partículas aceleradas en un campo magnético, la versión más reciente y completa de la época, según nos informa Baltá Elías, es la de Eidman, que en 1958 propuso unas ecuaciones más complejas que las dadas anteriormente, y que incluyen como casos particulares el de la radiación ciclotrónica y el de la sincrotrónica para partículas relativistas. Este trabajo se aplicó posteriormente para el análisis de nuevas observaciones de la radiación de Júpiter concluyendo que la radiación sincrotrónica de electrones relativistas podía darse con campos magnéticos mucho menores de lo supuesto inicialmente.

En relación con el mismo problema de la radiación sincrotrón en las observaciones astronómicas, es muy interesante también la memoria que presentó en 1964 Codina Vidal en la Academia de Ciencias de Barcelona, “La investigación radioastronómica en las longitudes de onda centimétricas”.<sup>24</sup> José María Codina Vidal, Doctor en Ciencias Físicas, perteneció la sección astronómica del Observatorio Fabra y fue catedrático de Electricidad y Magnetismo en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona. En los años cincuenta del siglo anterior trabajó como becario en laboratorios de espectrografía de París y realizó trabajos de investigación en el laboratorio de óptica electrónica de Toulouse. También fue director del servicio de espectroscopia de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona y en 1964 ingresó en la Academia de Ciencias de Barcelona.<sup>25</sup>

Dicha memoria es un extenso trabajo sobre cuestiones técnicas de los radiotelescopios y de medidas realizadas en radioastronomía, como espectros, composición de planetas, temperaturas de planetas, estudio de radiogalaxias y estructura de galaxias. En temas de medidas de distribución espectral, indica Codina que la emisión de la distribución espectral de la radiación emitida es análoga a la distribución energética de los electrones y este mecanismo no puede ser otro que el debido a los electrones relativistas moviéndose en el seno de un campo magnético, cuya radiación hemos visto que es conocida como radiación sincrotrón. Determinadas observaciones del espectro de radiogalaxias se explican con la aportación de electrones relativistas, que se suponen originados por el choque de los rayos cósmicos con los átomos del gas interestelar.

Trata de forma similar al de Baltá el tipo de emisión detectada de Júpiter en 1960, inédita en Astronomía y que por sus características se pensó que era un tipo de emisión sincrotrón. Hace referencia a la interpretación de Field sobre que el espectro observado podía deberse a electrones no relativistas si el campo magnético era muy

<sup>24</sup> Codina Vidal, “La investigación radioastronómica en las longitudes de onda centimétricas”, *Memorias de la Real Acad. Ciencias y Artes de Barcelona*, v 35, nº 3, 1964, p 71-132.

<sup>25</sup> Datos tomados de Joaquín Febrer Carbó, “Discurso de contestación” de la memoria de Codina en el acto de recepción de la *R. Acad. Ciencias y Artes de Barcelona* en 1964.

intenso, hipótesis que se vio reforzada por observaciones de Radhakrishnan y Roberts en 1960. Aun así anuncia que las nuevas y más precisas observaciones que han de llegar en breve permitirán asentar una hipótesis u otra.

En cambio, para características espectrales de otras galaxias, se confirmaba la emisión tipo sincrotrón propia de electrones relativistas moviéndose en el seno de un campo magnético, interpretación debida a Shklovsky y a astrónomos holandeses como Oort y Walraven.

También trata Codina las recientes observaciones radioastronómicas que confirman la expansión del Universo, así como la estructura de nuestra galaxia.

Joaquín Febrer Carbó también estuvo al tanto de las novedades respecto a la radiación sincrotrón y del espectacular progreso de la época en la observación de galaxias<sup>26</sup>. En concreto, en 1961, muestra su interés en la propuesta de Shklovski “según la cual las galaxias podrían eyectar de sus regiones centrales masas de gases conteniendo un campo magnético, en el cual electrones relativistas irradiarían por efecto sincrotrónico radiación que sería polarizada”. También nos informa que el astrónomo francés Lequeux, gracias a un radiointerferómetro, detectó una polarización de ondas radioeléctricas, lo que implica el carácter sincrotrónico de dicha radiación. Este descubrimiento supuso un hito importante porque fue la primera vez que se pudo medir el porcentaje de polarización en radioastronomía extragaláctica. Detalla también varios casos de detección de radiación sincrotrónica y de hipótesis de gases electrónicos con elementos relativistas. Igualmente destaca la identificación de galaxias cuya medición del espectro implicaría una velocidad de escape cercana a la mitad de la velocidad de la luz, “observación de gran importancia en cosmogonía”.

Por último, Antonio Due Rojo también trató la radiación sincrotrón de forma similar a Baltá Elías y Codina Vidal, aunque haciendo hincapié en que para que los cálculos teóricos coincidieran con la observación había que considerar las correcciones relativistas.<sup>27</sup> Lo más interesante es, como consecuencia del estudio astronómico de las radiaciones, el repaso que hace por las diferentes teorías acerca del origen de las galaxias, así como la referencia a las recientes modificaciones de las ecuaciones de Einstein en las que se considera el equilibrio de radiación.

En cuestiones generales sobre progresos de la época en astronomía cabe citar a Antonio Paluzié<sup>28</sup>, que en 1966 nos informa sobre las novedades respecto de las estrellas de neutrones, una estrella que ha consumido todo su combustible y está en la fase final de su evolución. Son astros de unos 15 Km de diámetro y con una masa similar a la del Sol. En esos años los astrofísicos (hace referencia a medidas de científicos del Instituto de Tecnología de California) suponían que las estrellas de neutrones se enfriaban tan rápidamente que no podían ser observadas ópticamente, ya que emitían por rayos X. Esta hipótesis concordaba con la posible existencia de una estrella de neutrones en la Nebulosa del Cangrejo, donde se detectó una intensa fuente de rayos X.

<sup>26</sup> Febrer Carbó, “La investigación astronómica en 1961”, *Urania*, 1963, p 71-78.

<sup>27</sup> Due Rojo, “investigación galáctica moderna”, *Las Ciencias*, 1963 p169-184.

<sup>28</sup> Antonio Paluzié Borrell, “Progresos de la astronomía en 1965”, *Urania*, 1966, p 26-68.

También informa Paluzié sobre los supuestos basados en reacciones nucleares en las estrellas. Respecto a las galaxias se detectó un débil anillo en un extremo de la espiral de una galaxia, que se asoció a electrones de gran energía con velocidades relativistas y en presencia de un campo magnético (radiación sincrotrón). Igualmente informa sobre la detección de radiofuentes variables a las que se denominó cuásares, de las que se hablaba en términos de objetos galácticos cuasi estelares (al principio se creían estrellas) con un fuerte corrimiento al rojo, detectadas por científicos de los observatorios del Monte Palomar y Mt. Wilson. De hecho, refiere la sugerencia de Sandage sobre que los cuásares son galaxias casi estelares durante una fase temporal de intensa radio-emisión.

Destaca Paluzié la importancia para la radioastronomía y la astrofísica del descubrimiento de líneas de emisión de hidrógeno excitado de algunos astros, que permite estudiar los movimientos y condiciones de nebulosas gaseosas en la vía láctea. En otros casos, espectros de radiofuentes han indicado la suposición de que estas radiofuentes consisten en nubes magnetizadas de partículas con velocidad próxima a la de la luz.

Otro tema de actualidad del que nos informa el astrónomo español era la cosmología estacionaria postulada por Bondi y Fred Hoyle que consideraban las propiedades, a gran escala, del universo como no cambiantes en el espacio y en el tiempo. Esto implicaba la no variabilidad de la densidad promedia de la materia en el universo, con lo que, para conciliar esta hipótesis con la indudable recesión de las galaxias, plantearon la creación de materia nueva, concretamente átomos de hidrógeno. El físico inglés McRea planteó dificultades a esta hipótesis, que de aceptarse sólo debería considerar la creación de materia donde a su vez hubiera materia. De todas formas nuestro autor plantea que “uno de los problemas creados por la teoría estacionaria es la manera como se han creado las condensaciones de materia uniformemente distribuidas para la formación de las galaxias”.

Siguiendo a Paluzié, otro tema de interés actual de la época era el estudio de los rayos gamma, que pueden dar información sobre los fenómenos que los generan, debiendo ser extremadamente energéticos. De su espectro se pueden deducir diferentes fenómenos como el de la aceleración de electrones en un campo magnético, aniquilación de pares protón-antiprotón, producciones de mesones pi en colisiones entre núcleos, etc. Las supernovas son generadoras de fotones gamma y el estudio de su espectro daría a conocer el proceso nuclear que tiene lugar durante la explosión de la estrella. Aunque todo esto se anuncia como posibles estudios futuros, creando una nueva rama de la Astronomía, la Astrofísica.

Sobre espectroscopia astronómica son de indudable interés los artículos de López Arroyo publicados en el *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid* en 1955 y 1959<sup>29</sup>. En el primero se hace un repaso de las bases teóricas de la espectroscopia, por lo que evidentemente se trata la física atómica para la correcta interpretación de los espectros atómicos y, en concreto, se detallan las correcciones relativistas para la

---

<sup>29</sup> R. Velasco, “La espectroscopia y el desarrollo de la ciencia actual”, *Las Ciencias*, 1963, p 337- 349, “Espectroscopia astronómica II ” (Efecto Doppler)”, *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1960*, 1959, p 309-402,

estructura fina de Sommerfeld y la modificación relativista de la ecuación de Schrödinger. Esto ya lo he tratado en el apartado dedicado a la física cuántica relativista. En el segundo trata el problema de la correcta interpretación del efecto Doppler en la espectroscopia astronómica. Parte de lo desarrollado por López Arroyo ya lo hemos visto en el apartado 4.3.1 dedicado a la relatividad como física teórica, pero otra parte tiene aplicación directa en cuestiones astronómicas. La importancia del efecto Doppler en Astronomía es indudable, como por ejemplo en las observaciones solares para interpretar el grado de absorción selectiva que la atmósfera terrestre produce sobre la luz solar (lo que se denomina líneas telúricas), también para medidas de distancias entre astros, estudio de estrellas dobles, velocidades radiales estelares y el retroceso de las galaxias, que tiene fundamentales consecuencias en la geometría del Universo y su evolución. También López Arroyo se aproximó a los modelos cosmológicos relativistas, como hemos visto en el apartado correspondiente.

Dos artículos destacaron la importancia de la astronomía para la relatividad, uno de José María Torroja Menéndez, “Los satélites artificiales y la astronomía”<sup>30</sup> y otro de Antonio Paluzie sobre los progresos en la investigación astronómica en 1966<sup>31</sup>. Torroja señala la importancia de situar instrumentos de observación astronómica en vehículos espaciales ó satélites artificiales, lo que es de suma utilidad para la investigación astronómica, por razones evidentes como evitar la influencia de la atmósfera terrestre. Para el estudio del movimiento de partículas en el espacio, fundamental en el cálculo para lanzamiento de vehículos espaciales, aunque “bien es cierto que la ley de gravitación de Newton ha sido superada por la teoría de la relatividad” en la práctica no se tienen en cuenta los efectos relativistas por el escaso margen de error, que sólo se deben considerar en las cercanías de Mercurio. Pero para la observación de fenómenos astronómicos, los satélites artificiales permiten experimentar con mayor grado de aproximación las leyes de la mecánica celeste y confirmar los tres casos previstos por la teoría general de la relatividad. El autor indica que con un satélite se permitiría probar de forma más precisa los dos primeros casos, el retroceso del perihelio de Mercurio y la desviación de la luz, es decir algo que todavía no se hizo en esos años desde el espacio. Para el tercer caso, el corrimiento de la rayas espectrales por la acción gravitatoria, indica que todavía no ha podido comprobarse con suficiente precisión y propone una nueva comprobación para este fenómeno. Desde tierra se recibe una emisión del satélite artificial a una determinada frecuencia. La misma emisión desde la tierra sería recibida en el satélite desviada hacia el rojo con lo habría que comparar ambas medidas. Esta medida, al ser muy pequeña, se reduce a la comparación de dos relojes atómicos idénticos instalados en tierra y en el satélite. La diferencia de marcha de ambos relojes debe ser del orden de 30 microsg por día, con lo que las comparaciones deben realizarse a lo largo de varias semanas. Pero Torroja indica que “Clemence ha señalado que los anteriores experimentos pueden quedar falseados por la posibilidad de que la constante de gravitación no sea tal constante, sino que por el contrario su valor varíe con el tiempo”. Con esta frase parece que esta propuesta ya era conocida pero Torroja no nos da referencias, tampoco de la de Clemence.

---

<sup>30</sup> Torroja, *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1966, 1965*, p. 312-378.

En cuanto al análisis que realiza Paluzié sobre los progresos en astronomía en el año 1966<sup>32</sup>, hay que destacar los avances en la precisión de las órbitas de los planetas interiores, gracias al uso del radar, analizando las contribuciones de Irwin I. Shapiro, en especial el uso del radar para la relatividad general, que predice el que una onda de radar reflejada desde Mercurio cerca de la conjunción superior con el sol debe sufrir un corrimiento Doppler de unos 10 ciclos por segundo en la banda X. Se anuncia que estos efectos serán medibles en breve gracias al rápido desarrollo de las técnicas de la radioastronomía. Esta técnica también ha permitido detectar en Júpiter unas anomalías en su espectro que no tienen semejanza con ninguno anteriormente detectado. Son emisiones discontinuas muy intensas que implican la presencia de un fuerte campo magnético en cuyo interior se desplazarían emisiones de electrones a velocidades relativistas.

Siguiendo con las novedades, Paluzié también dedica un apartado a los cuásares y la polémica sobre si los enormes desplazamientos al rojo son debidas a velocidades de recesión altísimas (del orden de un 80% la velocidad de la luz) o, como propugnan otros científicos, debidas al corrimiento gravitacional al rojo predicho por la relatividad general. Proporciona datos concretos de espectros de varios cuásares.

El descubrimiento de los cuásares fue uno de los más trascendentales de la astronomía del siglo XX, al que dedicó José María Torroja un artículo para explicar el origen de dicho descubrimiento, así como las diferentes hipótesis que intentaban daban cuenta de su fuerte corrimiento al rojo.<sup>33</sup>

Desde los comienzos de la Radioastronomía se intentó identificar las radiofuentes con objetos celestes observables ópticamente, pero esto no siempre era posible. En el proceso de búsqueda aumentó la precisión y se identificó una potente radiofuente cuya emisión es un ejemplo claro de radiación sincrotrónica. Las primeras descripciones indicaban que eran objetos celestes de apariencia estelar, identificados con radiofuentes, de luminosidad y flujo radioeléctrico variables, con anchas líneas de emisión, y a veces también de absorción, desplazadas ambos tipos fuertemente hacia el rojo.

La característica más significativa de los cuásares es su enorme corrimiento al rojo de las rayas de sus espectros, lo que dio lugar a interpretaciones basadas bien en el efecto Doppler por gran velocidad de recesión o bien por el efecto gravitatorio, que se explica con la relatividad general. También hubo interpretaciones mixtas en las que se explicaba el corrimiento por ambos fenómenos. Actualmente hay acuerdo en que se debe a los dos efectos, gravitatorio (algunos cuásares se identifican con agujeros negros) y por alejamiento. En este sentido hay que notar que en 1979 el cuásar QQ172 era el clasificado como el de mayor corrimiento al rojo, calculándose una velocidad de alejamiento de 0,91c si se considera sólo el efecto Doppler.<sup>34</sup>

---

<sup>31</sup> Antonio Paluzié, *Urania*, 1967 p 42-72.

<sup>32</sup> A. Paluzié, "Los progresos en la investigación astronómica en el año 1966", *Urania*, 1967 p 42-72.

<sup>33</sup> José María Torroja "Los quasars, nueva clase de objetos celestes", *Las Ciencias*, 1966, p 173-181.

<sup>34</sup> Información obtenida de Margaret Burbidge en Lerner y Trigg, *Encyclopedia of Physics*, Addison-Wesley, 1981. Versión española, *Enciclopedia de la Física*, Alianza Editorial, 1987, p. 1259.



En el año 1966, Torroja nos indica que todavía no había acuerdo para una explicación convincente del fuerte corrimiento al rojo de los cuásares. Había un problema en la interpretación única debida al efecto Doppler, la implicación de velocidades de recesión comparables o incluso superiores a las de la luz. Pero en el supuesto del corrimiento como efecto gravitatorio, de la fórmula  $\Delta\lambda = \lambda GM/c^2 R$  se deduciría que dichas radiofuentes serían objetos cuya masa  $M$  debe ser del orden de miles de millones de veces la del Sol y el radio no llegaría a un año luz. Aunque esta explicación también tiene dificultades, porque la luminosidad de estas radioestrellas debería aumentar con la magnitud del desplazamiento  $\Delta\lambda$ , contrariamente a lo que ocurre.

Aunque como hemos visto, no hubo trabajos científicos originales en España sobre relatividad relacionados con astronomía, ya que todos ellos eran información proveniente del extranjero, siempre rigurosa y muchas de las veces con profundidad, es una información de suma utilidad para el historiador de la ciencia española. Un último ejemplo de este tipo de escritos lo tenemos en Ballber, que era responsable en la revista *Aster* de una sección de información actualizada sobre astronomía. Ballber fue el primero que proporcionó información sobre dos temas fundamentales: por un lado, la teoría escalar-tensorial de la gravedad, propuesta por Brans y Dicke en 1961 y que fue una de las alternativas más serias a la teoría gravitatoria de la relatividad general; por otro la detección de ondas gravitatorias.

Respecto al primer tema, nos informa Ballber, en una nota extensa perteneciente a la sección “*Aster* ha leído para usted.. Noticiario astronómico”,<sup>35</sup> que Dicke y Goldenberg, de la universidad de Princeton, midieron una posible elipticidad en el disco solar, que podría dar explicación al desplazamiento del perihelio de Mercurio. De esta forma se invalidaría una de las bases experimentales de la relatividad general, porque dicha precesión del perihelio sólo se puede explicar con la teoría de Einstein si el Sol es completamente esférico, ya que un achatamiento de éste podría explicar el desplazamiento del perihelio de los planetas más cercanos, como el caso de Mercurio. Dicke construyó un telescopio fotoeléctrico específico para medir el supuesto achatamiento, concluyendo que el diámetro polar del Sol es ligeramente inferior al diámetro ecuatorial, en torno a 0,1 segundos de arco. Este valor implicaría un deslizamiento del perihelio de Mercurio de 3’4 segundos de arco, es decir un 8% del valor de Einstein, lo que implicaría una posible refutación de la relatividad general porque es un margen de error excesivo.

Aun así Ballber sostiene que sigue habiendo una importante incertidumbre en la relación numérica entre el achatamiento de la superficie del sol y el desplazamiento del perihelio, porque dicho desplazamiento está determinado principalmente por los niveles internos del Sol donde se concentra mayoritariamente su masa.

Sobre este importante tema no parece que se hiciera eco ningún otro medio científico español, salvo una breve nota aparecida en *Urania*. En 1968, en esta revista se dejó de publicar el resumen de los descubrimientos del año anterior, pasando a unos suplementos mensuales. En el nº152 de Julio y Agosto de 1968, viene una

---

<sup>35</sup> Ballber LJ “Achatamiento del disco solar” *Aster*, nº 140, 1967 p. 31-32.

relación de los diez descubrimientos más importantes desde Octubre 1966 a Octubre 1967 y cita en quinto lugar el que “El Sr. Dicke y sus colegas del Observatorio de Princeton han hallado que el sol tiene un achatamiento de  $1/20.000$ . Este descubrimiento tiene importancia para la teoría de la relatividad general de Einstein y para las de la evolución estelar”. Más tarde, ya en los años 80, Pilar García Estevez realizaría una tesis doctoral en la que profundiza en esta teoría de Brans- Bicke.<sup>36</sup>

Sobre la detección de ondas gravitatorias, en 1969 Ballber publica otro artículo<sup>37</sup> de la misma sección *Aster* anteriormente indicada, donde refiere los recientes experimentos de Joséph Weber en la Universidad de Maryland para detectar la radiación de gravitación, u ondas gravitatorias, una de las predicciones de la relatividad general. De todas formas es prudente al avisar que es un experimento muy delicado, donde existe una gran dificultad en interpretar los resultados. Detalla el experimento de Weber, que viene descrito en el *Physical Letters Review* de Junio de 1969. En realidad este experimento empezó a diseñarse en 1958 y se emplean para ello dos detectores suficientemente lejanos (unos 1.000 Km. de distancia) consistentes en un cilindro de una tonelada de aluminio y una longitud de 1,5 metros con cristales piezoeléctricos encastrados en su superficie. Cualquier perturbación, sea sísmica, electromagnética o gravitatoria provocaría una deformación muy ligera al cilindro que generaría oscilaciones mecánicas en los cristales piezoeléctricos, oscilaciones que generan señales eléctricas registrables. Si los registros de ambos detectores coinciden en el tiempo, es muy probable que sólo se puedan deber a perturbaciones gravitatorias, ya que las sísmicas o electromagnéticas no podrían producir registros iguales y simultáneos en ambos detectores separados por tanta distancia.

El informe de Weber se basa en un experimento de 81 días de duración en el que se registraron 17 coincidencias significativas registradas simultáneamente por los dos detectores. En el mismo experimento hasta con cuatro detectores separados se registraron cinco coincidencias con tres detectores simultáneamente, y tres con cuatro detectores. Por cálculo de probabilidades se descarta estas coincidencias como resultado del azar y Weber concluía la casi seguridad que se debían a ondas de gravitación.

Otro problema es la explicación de la causa de dichas ondas gravitatorias, explicación basada en la hipótesis de la explosión de una supernova o también en el caso de los púlsares binarios, que por ser grandes masas en rotación rápida producirían alteraciones del campo gravitatorio generando ondas de gravitación.

---

<sup>36</sup> Pilar García Estevez, *La invariancia conforme en gravitación y cosmología*, Universidad de Salamanca, Dpto de Física Teórica, Salamanca, 1983.

<sup>37</sup> Ballber, “Detección de ondas de gravitación”, *Aster*, nº 145, 1969, p. 45-46.

## 4.10.2. ANTONIO ROMAÑÁ: LA INTERPRETACIÓN DE DATOS OBSERVACIONALES

Anteriormente, en el apartado 4.3.4 dedicado a la cosmología, he señalado la importancia del libro de Romañá, *Estado actual de la cosmología*, entre otros motivos por haber profundizado en las posibles comprobaciones experimentales de los diversos modelos cosmológicos. Considero este aspecto, asociado a las observaciones astronómicas, más propio para tratarlo en este apartado que en el dedicado a la cosmología. También sobre la relación entre astronomía y relatividad considero esta obra de Romañá como de un valor incuestionable en la literatura relativista en España. Ciertamente no implica un trabajo original en cuanto a aportación de nuevos resultados ni interpretaciones, ni refleja trabajos de astrónomos españoles, que no hubo sobre estos aspectos. Pero la relación detallada que realiza de todos los modelos cosmológicos, de su posible comprobación experimental mediante observaciones astronómicas, de la interpretación de dichas observaciones y la conclusión en cuanto a validez de los modelos asociados, es impresionante, con un grado de conocimiento y profundidad que muestran la valía científica de trabajos de síntesis sobre el estado de conocimiento de una materia determinada. Ciertamente, para realizar esta labor Romañá demuestra una gran preparación como astrónomo y probablemente, si hubiera trabajado en observatorios de otros países en los que la investigación estaba orientada a temas cosmológicos, hubiera podido aportar, sin duda, su “granito de arena” a esta disciplina.

Otro aspecto muy interesante de la aportación de Romañá en relación con su posicionamiento sobre la comprobación experimental de modelos cosmológicos, desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia de Popper (aunque en ningún momento lo cita), es que el astrónomo español defiende que una observación experimental nunca puede ratificar una teoría, sino en todo caso refutar otras. Por ejemplo, cuando analiza los test relativos al cálculo de la edad del Universo afirma:

Este test se funda en el hecho evidente de que, si por medios del todo independientes de las teorías cosmológicas, como, v.gr., el cálculo de la edad de las estrellas a base de las modernas ideas sobre su evolución y producción de la energía estelar, se llega para ciertos cuerpos celestes a edades muy superiores a la que se deduce para el conjunto del Cosmos de una teoría cosmológica determinada, es claro que tal teoría o ha de ser desechada o sometida por lo menos a fuertes retoques. Lo cual no quiere decir que, si los resultados son compatibles, quede ya sin más una teoría cosmológica canonizada; lo único que se habrá probado es que por este capítulo no repugna y con razón se la puede someter a ulteriores pruebas.<sup>38</sup>

Según Romañá, ya rondaba en el ánimo de los astrónomos al inaugurar en 1948 el gran telescopio del Monte Palomar en Estados Unidos, la idea de averiguar mediante la observación cuál de los posibles modelos cosmológicos era el más factible, aunque las dificultades eran enormes, ya que muchos de los elementos asociados a los

---

<sup>38</sup> Romañá, *Estado actual de la cosmología*, Memorias de la R. Acad. Ciencias Madrid, Madrid, 1966, p. 177.

modelos no eran directamente observables, tanto mediante la astronomía óptica como mediante la radioastronomía. Según el astrónomo español si con muchas de las pruebas propuestas no se puede averiguar la validez de un modelo, sí parece posible establecer su invalidez si las observaciones no son compatibles con las predicciones teóricas.

Las pruebas se pueden clasificar en dos tipos: las comprobación de la métrica del universo y su variación temporal (efectos cósmicos) y la comprobación de ciertos fenómenos asociados a objetos celestes que están íntimamente ligados al conjunto del Cosmos (efectos de objeto, como abundancia de determinados elementos, fuentes de energía estelar, materia intergaláctica, etc).

Para la contrastación experimental conviene expresar las ecuaciones de campo en función de magnitudes directa o indirectamente observables. De las ecuaciones de campo sin constante cosmológica se obtiene una ecuación que liga la densidad media y la presión de la materia y radiación con la constante de Hubble y el parámetro de desaceleración  $q$ , que en la época actual se denomina como  $q_0$ . Mediante dicha combinación se llegó a la conclusión de que si  $q_0 > \frac{1}{2}$  la curvatura del espacio debe ser positiva (espacios cerrados elípticos), si  $q_0 = \frac{1}{2}$  la curvatura sería nula y el espacio euclídeo; y si  $0 \leq q_0 < \frac{1}{2}$  la curvatura será negativa y tendremos un espacio abierto hiperbólico. No se considera  $q_0 < 0$  porque daría resultados sin sentido físico salvo  $q_0 = 0$  que implicaría un universo estacionario.

Uno de los parámetros fundamentales es el de deceleración,  $q$ , suponiendo que la expansión se vaya decelerando, en función del radio del universo y la constante de Hubble, dado por la expresión  $q = R''/RH^2$  donde  $R''$  es la derivada segunda respecto al tiempo. Esta expresión se obtiene de la aplicación de la constante de Hubble en las ecuaciones de campo en la forma más general de Friedmann. Este parámetro tiene una importancia fundamental ya que de su valor y su signo depende la curvatura y por tanto la forma del espacio. Desde 1956 hubo varias determinaciones, cada vez más precisas, basadas en observaciones de cúmulos de galaxias, hasta que en 1961 se dio un valor para  $q$  aproximadamente de  $1 \pm \frac{1}{2}$ , en cualquier caso, parece probable que esté comprendido entre cero y dos.

Los tipos de medidas que se podían realizar para determinar conclusiones cosmológicas son seis: relación entre los números de nebulosas y su magnitud aparente; relación entre la magnitud aparente y el corrimiento al rojo del espectro; la relación entre el corrimiento al rojo y los diámetros de los cúmulos; los recuentos de radiogalaxias; el ruido de fondo del espacio; los test sobre la edad del Universo.

*Relación entre los números de nebulosas y su magnitud aparente.* Hubble pensó que con el cómputo de los números de galaxias visibles hasta distancias cada vez mayores se podía deducir la forma del espacio. El razonamiento es el siguiente: considerando las galaxias uniformemente distribuidas en el espacio, si suponemos que con centro en la Tierra trazamos esferas de radio creciente, el número de galaxias comprendido en cada esfera será proporcional a su volumen. Si el espacio es euclídeo tales volúmenes crecerán proporcionalmente al cubo del radio. Pero si no es euclídeo indica que el espacio es cerrado y elíptico. La idea era hacer recuento de las galaxias hasta distintas distancias y viendo cómo su número aumenta ha de ser posible conocer en

qué forma varían los volúmenes y deducir así si el espacio es euclídeo o no. El problema surge porque la contabilidad de distancias depende de la luminosidad aparente, por lo que la medida se debe basar en este parámetro. Romañá detalla diversos grupos de experimentos, destacando los del astrónomo Sadage, con tablas de distribución conseguidas, así como su interpretación, concluyendo que este tipo de test, a pesar de los ingentes esfuerzos que implicó durante años, no ha servido para concluir ningún resultado.<sup>39</sup>

*Relación entre la magnitud aparente y el corrimiento al rojo del espectro;* Las medidas basadas en la correlación entre magnitudes aparentes y el corrimiento al rojo parecían mucho más prometedoras, en las que interviene de forma fundamental el parámetro  $u$ , que mide la relación entre el corrimiento espectral y la longitud de onda de la radiación recibida, es decir  $d\lambda/\lambda$ . Como el corrimiento se interpreta como una velocidad de recesión y la magnitud como un indicador de distancia, se puede expresar este parámetro en función de la constante de Hubble y de dicha distancia: a su vez, también se puede obtener una relación entre dicho corrimiento y la magnitud aparente. De esta forma si la velocidad de expansión variase con el tiempo, acelerándose o decelerándose, tendría que aparecer una desviación de la linealidad de la relación entre la distancia y el corrimiento al rojo, por lo menos en los casos de objetos situados a distancias suficientemente grandes para que se pueda acusar el cambio. Si, por ejemplo, la velocidad de expansión fuese mayor en el pasado, las galaxias más distantes, de las cuales percibimos la luz emitida en una época pasada, han de manifestar una velocidad de recesión mayor que la dada por la relación lineal deducida de las galaxias más próximas. De esta forma se puede elegir entre los diferentes tipos de modelos que predicen cambios de la velocidad de recesión con el tiempo.

Romañá detalla varios tipos de observaciones realizadas por diferentes grupos de astrónomos, entre los que destaca el liderado por Sadage, aportando tablas construidas por estos grupos, en las que se muestra la relación entre el  $\log u$  y las magnitudes aparentes para diferentes valores de  $q_0$ . En 1961 obtuvo Sadage una estimación de  $q_0$  del orden de  $0,2 \pm 0,5$ , con que, como indica Romañá, “es claro, pues, que no estamos al fin, sino al principio de un largo camino y que es todavía muy grande el campo de trabajo”.

El reciente descubrimiento de la verdadera naturaleza de los cuásares podía jugar un papel decisivo en este tipo de test, por ser los objetos más brillantes conocidos. Una vez más Romañá vuelve a ser el autor español que trata con mayor profundidad dicho descubrimiento, ofreciéndonos detalles de las observaciones y su análisis, de donde se dedujo la posibilidad de interpretar el corrimiento al rojo como una combinación del efecto Doppler con el gravitatorio, por el enorme valor de la velocidad de recesión de algunos cuásares, mayor que la de la luz si sólo se contemplara el primero.

La ventaja de los cuásares es que nos pueden suministrar datos suficientes para determinar la forma del espacio, ya que, podemos establecer con mucha mayor

---

<sup>39</sup> Romañá, *Estado actual de la cosmología*, 1966, p. 129 a 141.

precisión que con las galaxias conocidas anteriormente la relación entre la magnitud aparente y el corrimiento al rojo. En el año que escribía Romañá este trabajo, 1966, se conocía dicha relación de 16 cuásares y de estos valores conocidos se concluye que son contrarios al modelo de estado estacionario. Aun así es prudente el astrónomo español afirmando que “el día que se conozca con seguridad el valor de  $u$  para un centenar de ellos [se refiere a los cuásares] se podrá formar un juicio bastante seguro”.<sup>40</sup>

*La relación entre el corrimiento al rojo y los diámetros de los cúmulos.* Teóricamente este tipo de prueba debe ser también muy concluyente para su interpretación, por lo menos en cuanto a posibilidad de rechazo de alguno de los modelos. Pero aun así, Romañá, después de concretar el detalle de diferentes observaciones y sus gráficas de variación de diámetros en función del corrimiento al rojo para diferentes valores de  $q_0$ , concluye que la capacidad de las observaciones ópticas del Monte Palomar es insuficiente, por lo que hay que recurrir a las radioastronómicas, no exentas de dificultades, pero que deberían proporcionar en el futuro próximo datos más fiables para la interpretación de los resultados en este tipo de test.<sup>41</sup>

*Los recuentos de radiogalaxias.* El número de radiogalaxias en las distintas partes del cielo constituye una medida de la densidad de las mismas. Si este valor es constante y la distribución uniforme, se deberían descartar los modelos evolutivos del universo y si, en cambio, se presentan alteraciones de la densidad con la distancia, habría que descartar el modelo estacionario. Romañá nos detalla la complejidad en las observaciones de radiogalaxias y la posibilidad de interpretaciones contradictorias. Igualmente nos da detalle técnico de los radiotelescopios más importantes, los métodos de registro, tanto radiotelescópicos como interferométricos, así como de los diferentes catálogos de radiogalaxias establecidos por grupos de astrónomos en diferentes partes del mundo. Ya en el primer catálogo, establecido en 1955 en Cambridge, la curva resultante contradecía una distribución uniforme. Posteriormente hubo otro que parecía contrarrestar estos resultados, por lo que se analizó en detalle las causas de posibles errores experimentales, causa en la que también profundiza Romañá. Con el tiempo se fueron limando estos errores con sistemas radioastronómicos interferométricos más precisos y los sucesivos catálogos parecían excluir el modelo estacionario. La explicación es la siguiente: trazando las curvas representativas de la relación entre los logaritmos del número de radiogalaxias observadas hasta distintas intensidades y de los que se hallarían en un Universo euclídeo estático y comparándolas con las curvas correspondientes predichas por el modelo estacionario, se encontraron discrepancias tan grandes que no se podían atribuir a errores de observación o interpretación, sobre todo porque se daba esta situación en la mayoría de los catálogos construidos, por lo que “parecían por tanto excluir definitivamente el modelo del estado estacionario”.<sup>42</sup>

*El ruido de fondo del espacio.* Los resultados sobre la detección del ruido de fondo también confirmaron la imposibilidad de un modelo euclídeo, infinito y estático, si

---

<sup>40</sup> Romañá, *Ibidem*, p. 141 a 148.

<sup>41</sup> Romañá, *Ibidem*, p. 148 a 155.

<sup>42</sup> Romañá, *Ibidem*, págs 157 a 171.

bien indica Romañá que “preciso es reconocer que tampoco aportan elementos suficientes para pronunciarse en pro o en contra de los distintos modelos evolutivos o estacionarios”. Pero el mismo Romañá parece contradecirse al informarnos que aunque, en esos años, estaba pendiente de confirmación este fenómeno mediante observaciones en otras frecuencias, no había ningún proceso astrofísico de los conocidos capaz de explicar dicha radiación, salvo que anteriormente hubiera una densidad del mismo mucho mayor. Esta mayor densidad explicaría un universo anterior concentrado. Aunque Romañá no lo explica, conviene aclarar que George Gamow, en 1940, aplicó la teoría cuántica para deducir el tipo de interacciones nucleares que tendrían que haber ocurrido en un universo originario de muy alta densidad, explicando así que el hidrógeno primigenio se habría transformado parcialmente en helio. Esta cantidad de helio dependía de una muy alta temperatura, lo que implicaría una fuerte radiación en forma de rayos X y rayos gamma. Esta radiación se tendría que haber debilitado y enfriado con la expansión del Universo, pero obligatoriamente seguir existiendo fuertemente desplazada al rojo en forma de ondas de radio. Por lo tanto, esta radiación de fondo debe llenar todo el Universo uniformemente y debe incidir sobre la Tierra desde todas las direcciones del espacio. Esta es la explicación por la que la detección de dicha radiación de fondo implica un universo en expansión originario del Big Bang.

Romañá nos informa también que Penzias y Wilson observaron un ruido de fondo emanado del conjunto del cielo, de uno a tres ordenes de magnitud mayor de intensidad que la atribuible al conjunto de las radiofuentes, lo que sugiere que el Universo tiene un fondo de radiación de origen térmico.<sup>43</sup>

*Los test sobre la edad del Universo.* Como siempre, Romañá justifica el que no se planteara la conveniencia de recurrir a este tipo de test hasta que los anteriores no descartaron la hipótesis base de los modelos evolutivos. En los modelos iniciales de Einstein y De Sitter el tiempo desempeñaba un papel discriminante, en cambio con la métrica establecida por Friedmann, en la que se eliminaba la constante cosmológica y donde  $R$  era una función del tiempo, éste jugaba un papel esencial. Desarrolla teóricamente Romañá la posibilidad de expresar el tiempo inicial de expansión de las galaxias en función de la constante de Hubble y el parámetro de desaceleración,  $q_0$ . Entrando en detalle en la interpretación de los resultados según las observaciones concluye que “tampoco este criterio está suficientemente maduro para sumiistrar el modo seguro de discriminar con certeza los distintos modelos de Universo”.<sup>44</sup>

*Test sobre otros “efectos de objeto” como distribución de elementos atómicos en el Universo y forma de las galaxias.* El estudio de la proporción de helio respecto de hidrógeno en las estrellas y nebulosas gaseosas de la Vía Lactea indica una proporción mayor de la esperada por deducción de la actividad solar basada en las reacciones termonucleares. Además se ha observado que esta proporción es similar en estrellas jóvenes y viejas. Esta situación sólo se puede explicar si la materia del Universo ha salido de un estado de temperatura superior asociado a una densidad también mayor. De hecho, el valor encontrado en la proporción entre helio e hidrógeno

---

<sup>43</sup> Romañá, *Ibidem*, p. 171 a 173.

<sup>44</sup> Romañá, *Ibidem*, p. 173 a 181.

está comprendido entre 0,08 y 0,18, cuando el previsto exclusivamente por reacciones termonucleares en el interior de las estrellas debería ser del orden de 0,001 y el previsto con estado inicial de temperatura del orden de  $10^{10}$  grados Kelvin (mayor que la actual) debería ser 0,14. Esta consideración, junto con la de la radiación de fondo, le llevó a Hoyle a descartar su modelo de estado estacionario basado en la creación continua, precisamente muy poco tiempo después de proponerlo, en cuanto tuvo conocimiento de dichos resultados.

Otro estudio que parece ratificar el universo evolutivo a partir de una densidad mayor, es la observación de galaxias elípticas, donde hay una distribución no uniforme del brillo que representa las agregaciones de materia, con una ley del inverso al cuadrado de la distancia. Estos nudos de condensación de materia sólo se pueden explicar, según Hoyle, como vestigios de una expansión desde una fase mucho más densa del Universo.

La conclusión de Romañá sigue siendo abierta, a pesar de todo, mostrando un criterio certero y riguroso de lo que debe ser la ciencia y el avance del conocimiento científico:

Una conclusión parece poderse deducir de todos los test expuestos. Aunque sin una evidencia apodíctica, es muy fuerte el peso de los argumentos e indicios, cada día más y más fuertes, en contra del estado estacionario. En cuanto a los restantes modelos, hoy por hoy no hay manera de discriminar los unos de los otros y no hay más remedio que aguardar a que nuevos adelantos técnicos hagan posible la realización de aquellos test que, como hemos ido indicando al exponerlos, son susceptibles de llevarnos a una comprobación más segura y consiguiente discriminación.<sup>45</sup>

---

<sup>45</sup> Romañá, *Estado actual de la cosmología*, Memorias de la R. Acad. Ciencias Madrid, Madrid, 1966, p. 194.



#### 4.11. PUBLICACIONES SOBRE RELATIVIDAD EN ESPAÑA DE AUTORES EXTRANJEROS

Como parte del tratamiento de la relatividad en España también hay que considerar las publicaciones de científicos extranjeros en nuestro país, bien por traducciones directas de otros artículos o libros aparecidos originariamente en sus respectivos países, o bien por la visita de algunos de ellos a nuestro país (generalmente invitados por colegas españoles, entre los que destaca una vez más Palacios quien presentaba precisamente a autores extranjeros que coincidían con sus ideas antirrelativistas), para impartir alguna conferencia que posteriormente aparecía publicada en medios propios, principalmente los *Anales de la R. Soc. Esp. Física y Quím.* y la *Revista de la R. Acad. Ciencias de Madrid de Madrid*. Hubo un caso especial de colaboración en España por parte del físico y matemático italiano Arccidiacono, discípulo de Fantappiè, publicando bastantes artículos sobre la teoría de este último en *Collectanea Mathematica*, el órgano del *Seminario Matemático* de la Universidad de Barcelona.

Podemos distinguir tres tipos de publicaciones: las especializadas de las revistas científicas, los libros de texto que suponen obras de referencia de la literatura relativista de este tipo (de cuyas traducciones precisamente se encargaron algunos de nuestros protagonistas españoles), y los libros de divulgación, generalmente biografías sobre Einstein. En este tipo también hay que catalogar las propias obras de Einstein aparecidas en nuestro país. Desde mi punto de vista, el hecho de la publicación de los libros de texto, aunque escasa y algo tardía, es otro indicativo más de la aceptación generalizada de la relatividad en nuestro país en los años de la dictadura. El hecho de que realmente los manuales de referencia sobre relatividad fueran escasos en España creo que hay que atribuirlo más a la situación socioeconómica española que a la influencia de físicos antirrelativistas como Palacios.

*Libros de referencia en España.* El primer libro de texto, de los considerados de referencia a nivel internacional, sobre relatividad especial y general que apareció en nuestro país en versión castellana fue, en 1966, el de Landau y Lifshitz, *Teoría Clásica de Campos* (Reverté, Barcelona, 1966) perteneciente al *Curso de Física Teórica* dirigido por los mismos autores y que constaba de nueve volúmenes. La traducción estuvo a cargo, directamente del ruso, de Ramón Ortiz Fornaguera, editándose por segunda vez en 1970. Incluye relatividad especial, campos electromagnéticos incluyendo su formulación relativista y campo gravitatorio en relatividad general.

En 1965 se publicó en castellano el manual de Messiah, *Mecánica Cuántica* (Tecnos, Madrid, 1965), con traducción de Carmen de Azcárate y Jaime Tortella, considerado un clásico, que contiene una parte específica dedicada a mecánica cuántica relativista. También cabe señalar el volumen cuarto del *Curso de Física Teórica* de Landau, denominado *Teoría cuántica relativista*, (Reverté, Barcelona, 1971).

Como manuales específicos sobre relatividad especial están el de Smith, *Introducción a la relatividad especial* (Reverté, Barcelona, 1969), con traducción de

Ramón Ortiz Fornaguera, y el de French, *Relatividad especial: Curso de física del M.I.T.* (Reverté, Barcelona, 1974), con traducción de Aguilar Peris.

Como curiosidad, parece ser que, según informa Goded Echevarría<sup>1</sup>, se estaba preparando una traducción del libro de Misner, *Gravitation*, por parte de profesores de la Universidad Complutense de Madrid. Es una lástima que hasta ahora no se haya culminado semejante proyecto, ya que este obra posiblemente sea, junto con la de Weinberg, *Gravitation and Cosmology*, uno de los manuales de referencia más importantes sobre teoría general de la relatividad, y su publicación en castellano hubiera supuesto un hito importante en la literatura relativista en España.

En cuanto a libros de divulgación, ya vimos que en los años veinte hubo una auténtica explosión bibliográfica de este tipo sobre relatividad, con obras del propio Einstein, Eddington, Born y Freundlich entre otros. Posteriormente hubo que esperar hasta los años ochenta para que se reeditaran algunas de las más conocidas obras de divulgación de Einstein, con la excepción de *El significado de la relatividad*, que se editó en Argentina por Espasa en 1948, (con traducción de Carlos Prélat, Catedrático de la Universidad de Buenos Aires), reeditada en España en 1971. Esta última edición contiene un apéndice sobre “la teoría relativista del campo no simétrico” que publicara Einstein poco antes de su muerte, con traducción del Doctor en Ciencias Físicas Albino Arenas Gómez. Otras obras de Einstein publicadas en España son: *Escritos sobre la paz*, (Península, Barcelona, 1967), *Mi visión del mundo* (Tusquets, Barcelona, 1980), *Mis ideas y opiniones* (Antoni Bosch, Barcelona, 1980), *Notas autobiográficas* (Alianza Editorial, 1984), *Sobre la teoría especial y general de la relatividad* (Alianza Editorial, Madrid, 1984), *La evolución de la física* (Salvat, Barcelona, 1986). También es muy interesante la aparición de una serie de textos originales relacionados con el origen de la relatividad y su impacto, entre los que estaban escritos de Einstein, Mach, Lorentz, Michelson y Morley, Poincaré, Eddington, Ortega y Gasset, etc, en la recopilación realizada por Pearce Williams, *La teoría de la relatividad, sus orígenes e impacto en el mundo moderno* (Alianza Editorial, Madrid, 1973).

Como vemos, desde las publicaciones de los años de recepción ya citadas en el capítulo tercero, no aparecieron nuevas ediciones hasta bien tarde, con la excepción de *Escritos sobre la paz*, (Península, Barcelona, 1967).

De otros autores cabe destacar el libro de Eddington *Nuevos senderos de la ciencia* (Montaner y Simón, Barcelona, 1945) con traducción de Miguel Masriera. Sobre este tipo de obras hay que señalar que muchas ediciones en castellano (de Einstein, Whitehead, Eddington, etc) aparecieron en México y Argentina, por lo que no los contemplo aquí. Puede que este factor también influyera en la relativamente escasa aparición de este tipo de publicaciones en España, aunque nótese que Espasa Calpe también editaba en Argentina.

En cambio, sobre biografías de Einstein sí que podemos encontrar bastantes publicaciones de autores extranjeros como Philipp Frank, *Einstein* (José Janés, Barcelona, 1949), Hilaire Cunie, *Albert Einstein* (Cid editor, Madrid, 1962), Carl Richmond, *Einstein*, (Guada, Barcelona, 1962), Peter MichelMore, *Einstein, perfil de*

---

<sup>1</sup> Goded Echeverría, *Introducción a la historia de la física del siglo XX*, UNED, Madrid 1978, p. 37.

*un hombre* (Labor, Barcelona, 1966), Carl Seeling, *Albert Einstein* (Espasa Calpe, Madrid, 1968), Desiderio Papp, *Einstein: historia de un espíritu*, (Espasa Calpe, Madrid, 1979), Boris Kutneszov, *Einstein, su vida, su pensamiento, sus teorías*, (Madrid, 1975). De todas estas son claramente destacables la de Philip Frank y la de Carl Seeling, por su reconocido prestigio.

Sobre los trabajos en publicaciones especializadas, ya hemos visto que en el campo de la física nuclear a partir de los años 60 era frecuente en *Anales R. Soc. Esp. Física y Quím.* la publicación conjunta de artículos de científicos españoles con colegas extranjeros. Este aspecto no lo voy a desarrollar aquí, ya que algunos de estos trabajos relacionados con relatividad ya se han tratado en el apartado 4.3.4.

Uno de los primeros artículos interesantes data de 1948 en la revista *Euclides*, siendo su autor ni más ni menos que Louis de Broglie, con el que precisamente colaboraría en Francia Martínez Risco. La redacción de *Euclides* decidió traducir y publicar este artículo de De Broglie<sup>2</sup> con motivo del interés público por la consecuencia de la bomba atómica. El escrito del físico francés es ilustrativo al respecto al anunciar que quiere aclarar lo que significa la inercia de la energía. Lo más interesante es que explica los conceptos de masa inerte y gravitatoria y el hecho de que no se entendía que fueran equivalentes, aspecto que no se solucionaría hasta la formulación de la relatividad general.

Tanto en los *Anales* como en la revista de la academia de Madrid, aparecieron algunos artículos de científicos extranjeros que solían ser presentados por colegas españoles para impartir conferencias en las respectivas instituciones. Así, Palacios presentó a autores como Olijnychenko, ambiguo al respecto, y Rapier, claramente antirrelativista. Recordemos que, como parte de su enorme esfuerzo por defender su teoría alternativa a la de Einstein, Palacios incentivó la participación en nuestro país de algunos científicos antirrelativistas extranjeros. Antonio Colino, Ricardo San Juan y José María Otero presentaron a Krzywoblocki, Weier y Weisskopf, respectivamente, cuyas conferencias sobre relatividad entraban en el ámbito de la “ciencia normal”, es decir relativista.

Olijnychenko impartió una conferencia en el Instituto de Física y Química de Madrid el 4 de Abril de 1957 sobre “Problemas del tiempo relativista” que aparecería más tarde en los *Anales*.<sup>3</sup> Demuestra que la paradoja de los relojes se resuelve con la ayuda de las transformaciones de Lorentz en sistemas acelerados, aunque también se identifica una contradicción lógica, porque se deducen intervalos de tiempo negativos. Aunque en ningún momento cita a Palacios, sí considera sus nuevas transformaciones, que él denomina generalizadas de Lorentz (recordemos que Palacios deducía unas transformaciones generales que en función de un factor 1 ó 0 implicaban las de Lorentz o las suyas). Estas ecuaciones dice que “conducen a las mismas relaciones de simultaneidad y a los mismos absurdos”. Es un artículo muy escueto, en el que parece ver alguna inconsistencia en las transformaciones de Lorentz, por el resultado de intervalos temporales negativos, pero que también se da

<sup>2</sup> Louis de Broglie, “Sobre la inercia de la energía”, *Euclides*, vol 8, nº 83, Enero 1948, p 1-4.

<sup>3</sup> Olijnychenko, *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, 1960, vol 56ª, p. 191 a 194.

en las generalizadas. En cambio sí defiende el sistema de Einstein para dar solución a la paradoja de los relojes, pero recurriendo a los sistemas no inerciales.

En otro escrito<sup>4</sup> Olijnychenko concluye que las medidas obtenidas en sistemas en movimiento dan un valor para el tiempo según la teoría relativista y también la medida de la velocidad de la luz, pero que este resultado de la medida no es incompatible con el uso de las transformaciones de Galileo. El motivo es que “decir que en un sistema en movimiento ‘el espacio mismo’ se contrae o ‘el tiempo mismo’ se dilata, es absurdo. Es posible solamente la contracción de un objeto material, o una alteración de la marcha de un reloj material”. Se basa en la ley de variación de la masa, pero en función de la velocidad angular  $\omega$ , ya que indica que el reloj más sencillo es una masa que gira sin rozamiento alrededor de un eje. Obtiene una ecuación para la velocidad angular de la forma  $\omega = \omega_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$  lo que implica que las medidas hechas en sistemas en movimiento darían el tiempo  $t' = t \sqrt{1 - v^2/c^2}$ . Afirma que esta consecuencia basada en la transformación de la masa, no es incompatible con las transformaciones de Galileo. El problema es que no dice de dónde obtiene dicha ley de transformación de la masa.

En su siguiente trabajo<sup>5</sup>, donde ya da referencias de Palacios, Olijnychenko deduce las ecuaciones de movimiento para un reloj giroscópico en posición longitudinal, de las que, según él, se deduce que el principio de relatividad produce un resultado inconsistente con la ley de conservación de la energía y el momento. Para el caso de contracción transversal considera el principio de relatividad modificado (basado en las ecuaciones de transformación de Palacios, de las que da referencia en un artículo publicado también en *Anales* de 1960), y concluye que tampoco cumple con la conservación del momento cinético, luego “el principio de relatividad modificado contienen más absurdos que el ordinario”. Este problema dice que se soluciona con introducir una contracción transversal como nuevo postulado.

Krzywoblocki, del *Michigan State University* (USA) (presentado en la *R. Acad. Ciencias de Madrid* por el académico Antonio Colino), planteó la insuficiencia del Principio de Mach para describir la dinámica del Universo, ya que además de la distribución de materia del Universo hay que considerar la distribución de energía. Postula así, un principio de energía que es una generalización del principio de Mach, donde éste es un caso particular de aquél<sup>6</sup>. El principio de Mach inicialmente considerado por Einstein decía que el campo  $G$  (compuesto por los coeficientes  $g^{ik}$  asociados a la métrica del espacio) viene determinado de una forma única y generalmente covariante por el tensor de energía  $T_{ik}$ . Pero la extensión propuesta aquí es que este tensor debe representar todas las clases de energía (cinética, potencial, materia, energía por pérdida de materia, energía entrante de un sistema, energía

<sup>4</sup> Olijnychenko, “Teoría de medidas en sistemas en movimiento”, *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* 1961, vol 57A p. 11 a 14.

<sup>5</sup> Olijnychenko, “Teoría de relojes giroscópicos (I) (II)”, *Anales Soc. Esp. Física y Quím., serie A Física*, v 57A, 1961, p 187-192, p193-200

<sup>6</sup> M.Z.V. Krzywoblocki, “Energy Principle vs. Mach Principle”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 59, 1965, p 501-506.

saliente desde un sistema, trabajo por unidad de tiempo y todas las fuerzas externas que interviene sobre un sistema).

En sesión del 7 de Diciembre de 1960, Ricardo San Juan presentó a Joséph Weier<sup>7</sup>, quien, partiendo de un espacio cuatridimensional de Lorentz, realizó una demostración matemática de que las ecuaciones de Maxwell se pueden expresar de forma tensorial, con las componentes del tensor F. Dichas ecuaciones son

$$\frac{\partial F^{\beta\gamma}}{\partial x^\alpha} + \frac{\partial F^{\gamma\alpha}}{\partial x^\beta} + \frac{\partial F^{\alpha\beta}}{\partial x^\gamma} = 0$$

y el tensor F tiene las componentes siguientes:

$$\begin{pmatrix} 0 & H_z & H_y & E_x \\ -H_z & 0 & H_x & -E_y \\ H_y & -H_x & 0 & -E_z \\ E_y & E_x & E_z & 0 \end{pmatrix}$$

En otro artículo, Joséph Weier<sup>8</sup>, también presentado por Ricardo San Juan, profundiza en el álgebra del espacio cuatridimensional de Lorentz, demostrando que los vectores de un espacio de Lorentz se corresponden con las matrices de Dirac clásicas, lo que se puede aplicar a cuestiones de electrodinámica cuántica.

Otro académico español, José María Otero, presentó a Weisskopf para impartir una conferencia sobre la importancia de las partículas elementales en la teoría cuántica de campos, basada como sabemos en la electrodinámica cuántica y, por tanto, en la mecánica cuántica relativista.

Un físico croata, Mohorovicic, también publicó un artículo en la *Revista R. Acad. Ciencias de Madrid*, sobre el estudio de la antimateria en el marco de la física clásica y en el de la relativista.<sup>9</sup> Concluye que en física clásica, como en relativista, también sería posible la existencia de antipartículas, con la condición de que la velocidad pudiera ser mayor que la de la luz mientras que en la relatividad se impone que sea menor. Según este autor, la comprobación de velocidades de interacción entre partículas y antipartículas podrían determinar la validez de la física clásica o la relativista.

Palacios presentó en la Academia de Ciencias de Madrid a un conocido antirrelativista americano, Pascal Rapier, que era Director de la *Newtonian Science Foundattion*.<sup>10</sup> Rapier era miembro de la *Newtonian Science Foundaton*, una

<sup>7</sup> Joséph Weier, "On axiomatization of the electrodynamics of the Lorentz space", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1961, p 11 a 14.

<sup>8</sup> Joséph Weier, "Zur einbettung des reellen Lorentzraumes in die Algebra der komplexen 4-Matrizen", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 62, 1968.

<sup>9</sup> Mohoveric, "A contribution to the Knowledge of antimatter", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 61, 1967, p 545- 554.

<sup>10</sup> Pascal M. Rapier, "A new understanding of the Compton effect", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 61, 1967, p 67-69.

asociación científica americana que postulaba la “rehabilitación” de Newton, en contra de la relatividad de Einstein. Escribió varios artículos para *R. Acad. Ciencias Madrid*, en los que aparecía “presentado por J. Palacios” que incidían en temas similares a los de Palacios.<sup>11</sup>

De una interpretación del efecto Compton, Rapier defiende que sigue siendo válida la ley de composición de velocidades de Galileo por lo que hay que rechazar la einsteniana. También establece que el sistema asociado a la fuente de la luz se puede considerar como un sistema privilegiado con respecto al cuál las ecuaciones de Maxwell son válidas, por lo que el principio de Einstein sobre la covariancia Lorentz también se puede descartar. Fijémonos que con esta interpretación también invalidaría la propuesta de Palacios, aunque no dice nada al respecto.

Palacios también presentó en la Academia de Ciencias, de la que era vicepresidente por entonces, a otros físicos, como los checos Podlaha y Navratil,<sup>12</sup> quienes postulan un conjunto de axiomas que puedan servir de base común para las transformaciones de Galileo, las de Lorentz y las de Palacios. Consideran que el hecho de que las transformaciones de Palacios contradigan el Principio de Relatividad, no es motivo para descartarlas ya que también explican el resultado negativo del experimento de Michelson, aunque avisan que la verificación experimental de la teoría de Palacios todavía es una cuestión abierta. Hizo lo propio con el croata Mohorovicic<sup>13</sup> y con científicos argentinos como Juan Carlos Cervi.<sup>14</sup> Casi todos estos autores presentados por Palacios habían publicado en el libro colectivo *Kritik und Fortbildung des Relativitäts theorie*, editado por Sapper en 1962 y que recogía las corrientes antirrelativistas de la época.

Entre los colaboradores extranjeros que publicaron en *Anales*, está el físico inglés P.A. Goodinson, que publicó dos trabajos<sup>15</sup> en 1969 específicos de relatividad general, en los que expresaba las ecuaciones del campo gravitatorio y campo electromagnético en una forma diferente, y más concisa, empleando un nuevo tensor energía-impulso a partir de los autovalores de sus componentes y calculando soluciones exactas de las ecuaciones de campo.

<sup>11</sup> Rapier, Pascal M, “The relativity of sir Isaac Newton”, *R.Acad. Ciencias Madrid*, v56, p25, 1962; “A new cosmology, based upon the Hertzian fundamental principle of mechanics”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v57, p47, 1963; “A proposed test of the asymmetrical aging absurdity using clock-satellites” *R. Acad. Ciencias Madrid*, v57, p 77, 1963.

<sup>12</sup> Podlaha y Navratil, “Formulation of the axioms for deriving the Lorentz transformation, Galileo transformation and Palacios transformation” *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 61, 1967, p 555-562.

<sup>13</sup> Mohorovicic, Stjepan; A contribution to the Knowledge of antimatter; *R. Acad. Ciencias Madrid*, v61, p545; 1967;

<sup>14</sup> Cervi, Juan Carlos, “Emisión asimétrica de electrones en el Cobalto-60”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 57, p.745, 1963); Hubo otro trabajo presentado por Julio Palacios de dos autores argentinos, Álvarez López, José y Juan Carlos Chautemps “Interferencia gravitacional en el efecto Einstein”, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v60, 1966, p 585. En realidad este texto no tiene nada que ver con relatividad, sino con aspectos de magnetismo. La posible confusión viene porque en realidad el efecto al que hacen referencia los autores es el efecto Einstein-de Hass, que consiste en el fenómeno de rotación inducida por magnetización, en el que se produce una interacción con la gravedad y además está relacionado con la teoría del spin del electrón. (Pais, *El Sr. es sutil*, ..Ariel, 1984, p 250 a 255).

<sup>15</sup> Goodinson, P.A. “The electromagnetic tensor in riemannian space-time”, *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 65(A), 1969, p 351-354; Goodinson, P.A. “Null field solutions of the Einstein-Maxwell field equations”, *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 65(A), 1969, p 355-358.

También es digno de mención la colaboración de Desiderio Papp (1895-1993) en la revista de divulgación científica *Ibérica* en una serie de artículos sobre la historia de la relatividad, desde 1946 hasta 1950<sup>16</sup>. Este autor de origen húngaro, pero afincado en Argentina, era un conocido historiador de la ciencia. Este conjunto de escritos supone una de las aproximaciones más didácticas a la relatividad desde el punto de vista histórico.

*La relatividad de Fantappiè y la colaboración de Arcidiacono en España.* Fantappiè fue uno de los matemáticos italianos más importantes de la época, destacando sus contribuciones en la teoría de funciones analíticas y su aplicación a la integración de ecuaciones en derivadas parciales. Este fue el campo donde más prestigio internacional consiguió, con influencia en otros matemáticos, entre los que se encontraron varios españoles<sup>17</sup>. Los otros campos de investigación de Fantappiè fueron una teoría denominada de la relatividad final (una extensión de la relatividad restringida de Einstein) y una teoría seudofilosófica-científica, denominada teoría unitaria y de causalidad del universo, tanto inorgánico como biológico, fundamentada en grupos topológicos, mecánica ondulatoria y relatividad especial. Uno de sus discípulos, Arcidiacono, extendió la teoría de la relatividad final a cuestiones de magnetohidrodinámica relativista y geometría proyectiva aplicada a la cosmología.

Fantappiè permaneció un tiempo en España en 1942, impartiendo conferencias en Madrid y Barcelona, y publicando un artículo sobre su teoría unitaria de la causalidad. A raíz de esta visita varios matemáticos españoles del *Seminario Matemático de Barcelona* (Teixidor, Casulleras Regas) trabajaron en Roma bajo su dirección en cuestiones de funciones analíticas. Otros matemáticos españoles también escribieron en *Collectanea Mathematica* (el órgano del *Seminario Matemático de Barcelona*), sobre las teorías matemáticas de Fantappiè, aunque no en relatividad final.

Fantappiè apoyaba la causa fascista italiana, por lo que fue un ejemplo de que en los primeros años 40 la influencia de la ciencia internacional en España estaba decantada hacia el eje italo-alemán, lo que cambiaría posteriormente con la predilección por los contactos con Estados Unidos, especialmente en la prioridad sobre investigación en física nuclear.

El único escrito de Fantappiè publicado en España (1943), es en realidad un artículo filosófico<sup>18</sup>, donde plantea que junto a los procesos entrópicos originados en una causa, se dan los inversos, dieptrópicos, donde aumenta la organización. Y aunque en principio no se observan directamente en la naturaleza de forma causal, matemáticamente se corresponden de forma similar a los entrópicos sin más que realizar una inversión temporal. Pero de forma sutil se pueden dar los fenómenos

---

<sup>16</sup> Desde "La batallona cuestión del éter", *Ibérica*, Diciembre 1945, p 498-503, más de quince artículos hasta 1950. Se pueden consultar en el anexo sobre bibliografía primaria.

"El viento del éter", *Ibérica*, 1946-I, p 35-38.

<sup>17</sup> José María Orts, "Fantappiè y el análisis", *Rev. Matemática Hispanoam.*, 4ª serie, v 17, 1957, p 3-17.

<sup>18</sup> Fantappiè, "Teoría unitaria de la causalidad y finalidad en los fenómenos físicos y biológicos, fundada en la mecánica ondulatoria y relativista" *Rev. Matemática Hispanoamericana*, 4ª serie, vol 3, 1943, p 82-99.

dióptricos como la formación de órganos avanzados en los seres vivos, la creación de inteligencia, etc, que implican una causa final.

Avisa que aun cuando en su teoría “intervienen cuestiones muy delicadas de filosofía, y, en general, no estrictamente científicas, su punto de partida radica, sin embargo, en principios y métodos de las ciencias Físicas y Matemáticas” (p 82). Parte de la consideración de los tipos de conocimiento sobre la estructura del Universo “que son generalmente admitidos y pueden ya considerarse como adquisición definitiva de nuestro patrimonio científico” y son los siguientes:

- La estructura atómica-corpúscular, partiendo de la teoría atómica de Dalton, la teoría corpúscular de la electricidad de Lorentz y llegando hasta la teoría cuántica de la energía iniciada por Planck
- La naturaleza ondulatoria de los fenómenos naturales considerados en su “más íntima” estructura, según la mecánica ondulatoria desarrollada en el siglo XX
- La teoría de la relatividad restringida, “demostrada, por ejemplo, por la variación de la masa de los electrones en movimiento muy rápido”.

Ante el problema existente en la mecánica ondulatoria, en la que la ecuación de Schrödinger no era invariante bajo transformaciones de Lorentz, Fanttapié señala que, aunque no se ha podido obtener una mecánica ondulatoria lo bastante general compatible con la relatividad restringida, se ha encontrado un caso en el que se han obtenido ecuaciones ondulatorias relativísticamente invariantes, como es el de la teoría de los electrones según la ecuación de Dirac. Estas ecuaciones predecían la existencia de electrones positivos, que al comprobarse su existencia experimentalmente han logrado “una ulterior comprobación de la relatividad restringida”. Aunque todavía no se había logrado unas ecuaciones ondulatorias invariantes para todo tipo de partículas, que deben ser las “verdaderas ecuaciones que regulan todos los fenómenos del universo”, se puede demostrar que “todas las ecuaciones de Schrödinger relativas a una partícula cualquiera contienen siempre los mismos términos de orden máximo”, por lo que las correcciones en la ecuación de Dirac pueden ser siempre conocidas.

Según Fanttapié todos los fenómenos de la mecánica ondulatoria se pueden asociar a ondas divergentes emitidas por un centro corpúscular. Pero se puede deducir la existencia teórica de ondas convergentes correspondientes a un potencial anticipado. La ecuación de D’Alambert relativa a ondas luminosas, que es extensible a la verdadera ecuación ondulatoria asociada a las partículas materiales, es relativísticamente invariante bajo transformaciones de Lorentz. Pues bien, si consideramos una transformación de Lorentz en la que se invierte el sentido del tiempo, cambiando el signo del mismo, tenemos soluciones matemáticas que implican ondas esféricas convergentes que también son relativísticamente invariantes. De esta forma se pueden dar nuevos fenómenos en la naturaleza cuya existencia sugiere el cálculo matemático, el correspondiente a fenómenos diectrópicos, como fue la previsión del positrón o la radiación de fondo que detectamos.



José M<sup>o</sup> Orts Aracil y Antonio Romañá son los dos únicos autores españoles que escribieron sobre la relatividad final de Fantappiè, de los que ya vimos anteriormente su aportación al respecto en el apartado 4.3.2

También a principios de los setenta, Lorenzo Ferrer, Ten y Olivert contactaron con Arcidiacono para consultar aspectos de relatividad final, aunque no consta que haya trabajos sobre esto. Lo que está claro es la importancia de la labor de la revista *Collectanea Mathematica* en difundir las ideas de Fantappiè y Arcidiacono, ya que este último publicó bastante sobre relatividad general en este medio. En concreto sobre la relatividad de Fanttapié y su extensión a otros campos relacionados, Arcidiacono publicó en nuestro país desde 1958 hasta los años setenta, con aportaciones propias en el campo de la relatividad. En ellos trató sobre cuestiones de magnetohidrodinámica relativista y su relación con modelos cosmológicos, teorías unitarias basadas en las ideas de Cartan, la adaptación del modelo de De Sitter mediante la aplicación de la relatividad final, y, en definitiva, la aplicación de la relatividad final a un nuevo modelo cosmológico denominado cosmología proyectiva<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> Giuseppe Arcidiacono; “La relatività di Fantappiè”, *Collectanea Mathematica*, 1958, p 85-124; “Gli spaze di Cartan e le teorie unitarie”, *CM*, 1964, p 150-168; “Relativita cinematica e cosmlogia proiettiva”, *CM*, 1965, p 180-196; “Magnetohidrodinamica e cosmologia”, *CM*, 1968, p 178-202; “L’universo di De Sitter e la relativita proiettiva”, *CM*, 1968, p 52-71; “L’universo di De Sitter e la Meccanica”, *CM*, 1969, p 231-255; “Relativita finale e cosmologia”, *CM*, 1960, p 4-32; “L’universo di De Sitter e la Astrofisica”, *CM*, 1974, p 296-316.

#### 4.12. LOS CIENTÍFICOS ESPAÑOLES EN EL EXILIO ANTE LA RELATIVIDAD.

Como ya hemos visto anteriormente, existe abundante bibliografía sobre el exilio de destacados científicos españoles como consecuencia de la Guerra Civil. En este apartado no voy a tratar la situación de los científicos españoles en el exilio, para lo que se puede consultar excelentes obras, como las de García Camarero (1978)<sup>1</sup>, de Francisco Giral (1994)<sup>2</sup>, o la obra colectiva dirigida por Otero Carvajal (2006)<sup>3</sup>, así como otros trabajos más concretos<sup>4</sup>, sino que me voy a centrar en la contribución de algunos de estos científicos sobre la teoría de la relatividad, en concreto Blas Cabrera, Pedro Carrasco, Emilio Herrera, Martínez-Risco y Luis Antonio Santaló. Estos dos últimos realizaron aportaciones realmente originales sobre relatividad, por lo que hay que destacar la importancia de sus figuras que, creo, no han sido suficientemente reconocidas por los historiadores no especializados en física, aunque sí por sus colegas.

##### 4.12.1. BLAS CABRERA, PEDRO CARRASCO Y EMILIO HERRERA

Uno de los científicos españoles más destacados que tuvo que exiliarse fue Blas Cabrera. En Francia siguió publicando trabajos experimentales sobre magnetismo y en México fue profesor de Física Atómica e Historia de la Física. En este último país comenzó un extenso trabajo denominado "Evolución de las ideas en la física", cuyo primer capítulo apareció en la revista mejicana de divulgación *Ciencia*, pero lamentablemente falleció antes de su continuación, donde indudablemente trataría conceptos de la física moderna. De esta única entrega se puede comprobar su excelente estilo como ensayista y su visión didáctica sobre la evolución de las ideas y conceptos de la física.<sup>5</sup> Más interés lo tiene un escrito inédito que se iba a llamar "Teoría de la relatividad", del que quedan manuscritos (probablemente del mismo año de su muerte, 1945), según nos cuenta González de Posada<sup>6</sup>, y donde Cabrera se interesa por la teoría anteriormente mencionada de Birkhoff. Parece que Cabrera se muestra ambiguo al respecto al afirmar

De los varios intentos formulados para tal fin conservando las ideas fundamentales de la ciencia clásica sólo Birkhoff ha logrado éxito con una concepción que ha encontrado colaboración esencial en México. (...)

---

<sup>1</sup> García Camarero, "La ciencia española en el exilio de 1939" en Abellan (dir) *El exilio español de 1939*, tomo 5, madrid, Taurus, 1978.

<sup>2</sup> Giral, Francisco, *Ciencia española en el exilio (1939-1989). El exilio de los científicos españoles*, Anthropos, Barcelona, 1994.

<sup>3</sup> Otero Carvajal, dir; *La destrucción de la ciencia en España. Depuración universitaria en el franquismo*, Editorial Complutense, Madrid, 2006.

<sup>4</sup> Javier Peralta, "Sobre el exilio matemático de la guerra civil española", *Hispania Nova. Revista de Historia Contemporánea*, nº 6, 2006; González Redondo, "La reorganización de la matemática en España tras la Guerra Civil. La posibilitación del retorno de Esteban Terradas y Julio Rey Pastor", *Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española*, v 5, nº 2, 2002.

<sup>5</sup> Cabrera, "Evolución de las ideas en la física", *Ciencia* nº 6 (México), 1945, p. 197.

<sup>6</sup> González de Posada, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad*, 1995, p. 94. También anuncia el autor una posible publicación sobre los trabajos de Cabrera en el exilio, que hasta la fecha no ha aparecido.

De toda suerte se tiene aquí la posibilidad de nuevas confirmaciones experimentales obtenibles por el perfeccionamiento de las observaciones astronómicas. Ello puede dar la base de nuevas pruebas a favor de la referida teoría de Birkhoff.<sup>7</sup>

El caso de Pedro Carrasco y los detalles de su exilio en México se pueden seguir en la tesis doctoral de Vaquero Martínez, *El éter en la física española del primer tercio del Siglo XX: el caso de Pedro Carrasco Garrorena (1883-1966)* (Universidad de Extremadura, 2001). Sabemos de su ambigüedad inicial sobre la hipótesis del éter y de la evolución de su pensamiento al respecto. Pues bien, en el exilio escribió un libro de divulgación, *La nueva física* (Editora El Nacional, México 1942), en el que dedica varios capítulos a la relatividad. Aunque esta obra no aporta nada nuevo en cuanto a tratamiento de la relatividad, es interesante porque supone el abandono definitivo de Carrasco de la idea del éter. Expone la relatividad especial de forma ortodoxa y los principios básicos de la relatividad general, incluyendo consecuencias de tipo conceptual y elogiando los logros de la teoría de Einstein.

Otro exiliado español de renombre tanto en la ciencia (aeronáutica en este caso) como en la política (fue presidente del Gobierno de la República en el exilio) es Emilio Herrera.

Vimos que Emilio Herrera ya trató temas de relatividad en los años de recepción, aunque desde una óptica algo heterodoxa. En su exilio en Francia se siguió interesando por este tema, planteando, en varios escritos aparecidos en publicaciones francesas, que su modelo cosmológico propuesto en 1934, según se ha visto en el capítulo tercero, era compatible con un universo mecánico cartesiano. También se aproximaría, en el año 1960 en una revista científica venezolana de aeronáutica, al problema de la paradoja de los relojes, problema que en esa época estaba de actualidad por la polémica entre Dingle y McRea, así como en España por la insistencia con que la trató Palacios. El planteamiento de Herrera, básicamente, es que no existe tal paradoja porque en el caso de la relatividad restringida el retardo del tiempo de un viajero a la ida se compensa con el adelanto a la vuelta y que sólo se produce un auténtico retardo temporal por los efectos de las aceleraciones en el viajero, según los principios de la relatividad general.<sup>8</sup>

En 1963 afirmaría, en una carta a Palacios, donde le expone sus ideas que interpretan “la gravitación por la rotación del éter elástico que llena el Universo”:

He seguido después estudiando esta teoría y he llegado a la consecuencia de que coincide con el concepto de Descartes sobre la constitución del Universo como un conjunto de torbellinos de todas clases, formas y dimensiones, con sólo amplificar este concepto añadiendo: “y de todo número de dimensiones”.<sup>9</sup>

---

<sup>7</sup> Texto original transcrito de González de Posada, 1995, p. 95.

<sup>8</sup> Herrera, “¿Transcurre mas despacio el tiempo en una astronave?” I y II, *Ciencia aeronáutica y astronáutica*, Caracas, nº 72, noviembre 1960, p 9-12 ; “El tiempo en una astronave” *Ciencia aeronáutica y astronáutica*, Caracas, nº 73, diciembre 1960, p 7-9.

<sup>9</sup> Emilio Herrera, Carta a Julio Palacios, París, 7-10-1963, *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial*, Fondo Herrera, Registro nº 413 (serie 421).

La idea de la propuesta de Herrera, aparecida en un extenso trabajo aparecido en varios números de la revista francesa *Le Genie Civil* en 1963<sup>10</sup>, era recuperar el modelo cosmológico de Descartes (propuesto en 1664 en *El mundo o el tratado de la luz*) y sintetizarla o hacerla compatible con la relatividad einsteniana, aunque, a mi juicio, con una interpretación personal de ésta última. Igualmente este intento de síntesis del modelo cartesiano y el einsteniano sería también compatible con la propia tesis de Herrera propuesta en 1934 sobre la hipergeometría del universo, que ya vimos anteriormente. En el modelo de Descartes el tiempo es absoluto y los fenómenos se explican exclusivamente por torbellinos que se integran en diferentes órdenes según la dimensión en que estén considerados, donde se dan fuerzas de cohesión por un lado y centrífugas por otro. Las fuerzas de cohesión que mantiene unidos los constituyentes de un torbellino  $n$ -dimensional es la generada por la fuerza centrífuga de un torbellino de  $(n+1)$  dimensiones en el que se encuentra ubicado el anterior. Vemos que es una idea muy similar al del hiperespacio de  $n$  dimensiones expuesta por Herrera en años anteriores. Para Herrera, el sentido de giro de cada torbellino implicaría un factor de atracción o repulsión. A pesar de que Herrera consigue explicar matemáticamente los conocidos fenómenos relativistas, su teoría no tuvo impacto en la comunidad científica, que probablemente la veía como carente de rigor científico<sup>11</sup>. Herrera escribió a varias personalidades y organismos sobre su propuesta sin recibir respuesta positiva. Por ejemplo el 24 de enero de 1952 escribió a Einstein, el 27 de marzo de 1965 a Louis de Broglie, el 9 de abril de 1965 al Presidente de la *Royal Society* de Londres, en fecha sin determinar de 1964 al *Institut de France de la Académie des Sciences* (de la que se dispone de contestación de agradecimiento por el envío con fecha 15 de junio de 1964). Como anécdota curiosa, sobre la carta citada de Herrera a Einstein para que valorara su teoría de un Universo  $n$ -dimensional rotatorio, el mismo Herrera recuerda que Einstein le contestó que no entendía “ni una sola palabra” de lo expuesto.<sup>12</sup>

Fuera ya de su teoría cosmológica, en 1963 Herrera publicó también un artículo más específico sobre relatividad especial<sup>13</sup>. En este artículo Herrera se muestra ambiguo, al plantear las posibles explicaciones al resultado negativo de los diferentes experimentos del tipo Michelson-Morley, que describe con todo detalle, tanto conceptual como matemáticamente. Una de estas explicaciones era un posible error de medida precisamente por la complejidad de dicho experimento y alta precisión requerida. De hecho, según Herrera, el experimento citado no explicaba el fenómeno de la aberración estelar, lo que implicaba una cierta limitación del mismo. Ante esta situación, se hacía evidente la necesidad de contemplar otros experimentos más precisos, como el llevado a cabo por Kantor en 1962, del que ya hemos hablado

<sup>10</sup> Emilio Herrera, “L’Universe de Descartes”, *Le Genie Civil*, París, v 140, jul., ago. sept. y dic. 1963.

<sup>11</sup> Para más información ver Emilio Atienza, *Ciencia y exilio. El general Herrera*, Granada, 1993, p. 107 a 115.

<sup>12</sup> De esta carta no se conserva la mecanografiada y enviada a Einstein, sino un manuscrito previo de Herrera en el AHIA, *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial*. La contestación de Einstein es según recuerda el propio Herrera en carta a Julio Palacios, París, 7-10-1963, AHIA, Fondo Herrera, Registro nº 413 (serie 421). Probablemente Herrera se refiera a la carta de Einstein.

<sup>13</sup> Herrera, “La vitesse de la lumière par rapport aux corps en mouvement”, *Le Genie Civil*, v 140, 1963, p 262-264 (está disponible un borrador mecanografiado, casi igual al texto definitivo salvo las figuras, en el archivo Herrera, <http://eherrera.aero.upm.es/archivo/docs/0006.pdf>).

anteriormente por el uso que hizo de él Palacios para defender su postura. También Herrera describe con todo detalle dicho experimento, aunque no toma una postura clara en cuanto a la interpretación de su resultado, limitándose a concluir “el evidente interés científico que tendría la repetición de los experimentos de Michelson y Kantor, comparativamente en un mismo laboratorio y con la máxima precisión posible”.<sup>14</sup> En correspondencia privada con Palacios, Herrera no se mostraría tan prudente al tratar este asunto.

Herrera también consideraba que a partir del experimento de Kantor la relatividad estaba refutada. Veamos las siguientes letras de Herrera a Palacios, escritas en 1963

En el ABC he leído artículos suyos por los que veo que, como yo, Ud no cree en la teoría de la relatividad que, en opinión mía, debe ser considerada como terminada, sobre todo después de la experiencia del profesor Kantor en el Laboratorio de Electrónica de la Marina Americana en San Diego. También estoy de acuerdo con Ud. acerca de la conjura del silencio contra todo aquel que trata de presentar alguna duda sobre la teoría relativista.<sup>15</sup>

Aunque todavía en 1963 Herrera no aceptaba la relatividad, mantuvo con Palacios algunas discrepancias, por correspondencia privada, sobre la paradoja de los relojes, donde Herrera no veía contradicción interna. Herrera era contrario a la relatividad, pero no porque ésta contuviera inconsistencia lógicas, sino por considerarla contraria a su teoría hiperdimensional del Universo rotatorio y también por cuestiones filosóficas como el hecho de que las constantes de la naturaleza pusieran límites a un diseño inteligente. Así se comprueba en el siguiente escrito a Palacios. En Noviembre de 1963, desde su exilio en París, Herrera escribía a Palacios:

Mi querido amigo y antiguo compañero:

He leído con mucho interés su artículo “La sinrazón del relativismo” publicado en el ABC del 15 del corriente y sigo estando de acuerdo con V. en que Einstein no tenía razón, contrariamente a lo sostenido por el defensor del Relativismo Profesor Gallego Díaz, pero la falsedad de la Teoría de la relatividad, en mi opinión, no puede demostrarse por contradicciones en que esta teoría haya podido incurrir (que creo no hay ninguna) sino en razonamientos mucho más esenciales, como le decía en mi carta anterior que supongo en su poder.

En efecto, al problema que V. presenta en su artículo, un relativista puede contestar que, en efecto, el tiempo en los relojes de las estaciones anda más despacio “relativamente al viajero” que el que marca el reloj de éste, pero al mismo tiempo, la longitud de la vía, también “relativamente al viajero” se acorta en la misma proporción de tal manera que Don Ingenio, al pasar por cada estación ve al reloj de ésta marcar la misma hora que el suyo. No hay pues discusión sobre si debe adelantar o atrasar su reloj para ponerlo de acuerdo con los de las estaciones.

---

<sup>14</sup> Herrera, "La vitesse de la lumière par rapport aux corps en mouvement", *Le Genie Civil*, v 140, 1963, p 264.

<sup>15</sup> Emilio Herrera, Carta a Julio Palacios, París, 7-10-1963, *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial*, Fondo Herrera, Registro nº 413 (serie 421).

Supongamos que el tren marcha a 180.000 Kms/s ( $3/5$  la velocidad de la luz) y que la primera estación está a esa distancia del punto de salida. El reloj del viajero marcará la hora de salida más un segundo y el tren, para el viajero, habrá recorrido 180.000 Km. En la vía los relojes y las distancias son iguales que para los del tren, considerados por los que están en tierra, pero “relativamente a los del tren”, los segundos y los kilómetros se han reducido a los tres quintos de los segundos y de los kilómetros en el tren. Total, que para el viajero, el reloj de la estación marcará también un segundo, pero un segundo más lento que el de su reloj, y el poste kilométrico marcará 180.000 km. pero kilómetros más cortos que los que se pueden medir en el tren. La velocidad siempre es v con igual número de kilómetros por sg, sean kilómetros o segundos verdaderos o sean propios del sistema considerado como fijo, o acortados como son del sistema móvil relativamente al fijo.<sup>16</sup>

Las razones esenciales a las que se refiere, y que le hacen rechazar las constantes universales, son, según el mismo indica, “por consideraciones de suprema filosofía y casi teológicas”:

Si la creación es obra de un SER “infinitamente” bueno, sabio y poderoso, como creemos y estamos seguros, no podemos admitir que su OBRA tenga ninguna limitación. Si ha creado la extensión en una dimensión (la línea), en dos (la superficie) y en tres (el espacio que nos muestran nuestros sentidos) ¿por qué se va a limitar a tres y no ha creado los espacios de todo número de dimensiones? No podemos verlos porque pertenecemos a un mundo de tres y nuestros sentidos están limitados a recibir y comunicarnos las impresiones emanadas de estas tres dimensiones y sólo de ellas. (...) Si el número de dimensiones fuera sólo “tres”, este “tres” sería un número sagrado, una Constante Universal, pero en la CREACIÓN, hecha por un SER INFINITO, no puede haber constantes universales, ni números privilegiados o sagrados, que implicarían limitaciones.<sup>17</sup>

Vemos que este tipo de razonamientos, al salirse del terreno científico, tienen el problema de no ser ni demostrables ni refutables empíricamente.

Aun así, parece que al final de sus días Herrera estaba convencido de la validez de las teorías relativistas, según se comprueba en una carta de 1963 dirigida a su sobrino Juan Aguilera, sobre la actitud de Palacios sobre el tema, donde incluso critica con cierta dureza la actitud del físico y académico español por el desprestigio que para la ciencia española podía acarrear su actitud:

...he sido y sigo siendo muy amigo del Profesor Palacios a quien di la cátedra de profesor de Física en la Escuela Superior de Aeronáutica que yo dirigía por creer que era la mayor autoridad en España en esta materia, exceptuando a don Blas Cabrera que, por su edad y su condición no podía aceptar este cargo. Pero esta admiración que yo sentía

<sup>16</sup> Emilio Herrera, Carta a Julio Palacios, París, 26-11-1963, *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial*, Fondo Herrera, Registro nº 417 (serie 421).

<sup>17</sup> Emilio Herrera, Carta a Julio Palacios, París, 27-10-1963, *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial*, Fondo Herrera, Registro nº 414 (serie 421).

por el profesor Palacios no es compatible con la actual labor de tratar de ridiculizar y de destruir la teoría relativista de Einstein que ha emprendido en la prensa española y, sobre todo, en el "ABC".

Ha inventado un personaje llamado don Ingenuo, que partiendo de Madrid en un tren de velocidad  $y$ , con su reloj en punto con el de la estación, tendría que ver su reloj atrasado con relación a los de las demás estaciones por donde pasara (según la idea que él tiene de la teoría de la relatividad), al mismo tiempo que los jefes de estación verían que eran sus relojes los que se atrasaban con relación al de don Ingenuo. Como esto es imposible, la teoría de Einstein es disparatada,

Para evitar que, con sus artículos en que demuestra no haber entendido la teoría relativista, dada su categoría de académico de Ciencias y de director de la Sociedad de Física y Química, siga poniendo en ridículo a la ciencia española ante el extranjero, le he escrito varias cartas para tratar de sacarle de su error, pero no he conseguido nada. Se ha dirigido con sus cálculos a todos los sabios y a todas las Academias de Ciencias del mundo pero ninguno le ha contestado; él dice que se ha establecido un complot de silencio contra él, pero lo que pasa es que los sabios y las Academias no quieren perder el tiempo discutiendo cosas que están archidemostradas.

Le he dicho que yo también he tenido estas dudas pero que, con mis compañeros de la Sociedad Matemática, se las expusimos al propio Einstein cuando estuvo en Madrid y él nos las resolvió perfectamente. Refiriéndonos a la Relatividad Restringida (que es la que Palacios combate especialmente) le he recordado que su primer principio es que, en cada sistema, las cosas pasan del mismo modo, esté el sistema en reposo o en movimiento uniforme y rectilíneo. De modo que los metros son metros, las horas son horas y se nace, se vive y se muere como si el sistema estuviera quieto, aunque marche con la velocidad de la luz.

Lo que dice la Relatividad es que, para un sistema B que se mueve a velocidad  $v$  con relación al sistema A, y recíprocamente, el tiempo y el espacio en el sistema observado, *relativamente al observador*, resultan divididos por  $(1-v^2/c^2)^{1/2}$  (siendo  $c$  la velocidad de la luz), de modo que, para don Ingenuo, el tiempo y la longitud de la vía en la Tierra se habrán alargado. Si, por ejemplo, la velocidad  $v$  del tren fuera de 180.000 km/s, o sea  $3/5$  de  $c$ , las horas en las estaciones y los km de vía quedarían estirados a  $5/4$  de los que marcan los postes kilométricos y los relojes. Si el viaje había durado una hora en el reloj de don Ingenuo, en los relojes de las estaciones también habrá marcado una hora, pero esta hora en las estaciones, *relativamente para don Ingenuo*, será de cinco cuartos de hora, por lo que la hora marcada por los relojes de las estaciones será siempre la misma que la que marque el reloj de don Ingenuo. Es una cosa análoga a las distancias apreciadas desde una altura de mil metros sobre el suelo desde un avión, que parecen, para el aviador, mucho más pequeñas que lo que son.

Para tratar de convencerlo le expuse el caso de que, en las estaciones, se emplearan relojes lineales, o sea, de una cinta horizontal en que

estuvieran marcadas las horas, que fuera corriendo y marcara la hora sobre un índice fijo sobre la puerta de la estación, en donde el jefe leería la hora, pero para el viajero de tren, don Ingenuo, la cinta se habría alargado y su velocidad habría aumentado en igual proporción, por lo que la hora marcada sería la misma.

Estos artículos del profesor Palacios están desacreditando nuestra ciencia hasta el punto de que se cita a España como completamente inculta en estas materias. En un número de la revista norteamericana "The Atomic Journal" el profesor Bethe (autor del célebre ciclo que mantiene la energía en el Sol) publicó un artículo diciendo que la fuga a Rusia del profesor Fusch, sabio atómico que había colaborado en la fabricación de la bomba de Hiroshima, era algo de gran gravedad porque en Rusia hay grandes sabios, grandes laboratorios y grandes fábricas, donde las indicaciones de Fusch podían ser muy aprovechadas, pero, en cambio, si en vez de irse a Rusia se hubiera marchado a España, la cosa no hubiera tenido ninguna importancia porque allí no hay nadie que entienda de estas cosas.<sup>18</sup>

Hay que notar que, evidentemente, entre el escrito de 1963 de Herrera dirigido a Palacios sobre el experimento de Kantor y éste de 1966 tuvo que haber otros en los que se podría comprobar la evolución en el pensamiento de Herrera pero lamentablemente no he podido localizar ninguno.<sup>19</sup>

También, en un escrito homenaje a Martínez-Risco que transcribo más adelante, parece mostrarse defensor de la relatividad.

Por último, resulta interesante realizar una breve mención al hecho de que Herrera mantuviera correspondencia directa con Einstein en los años 50. Sabemos de alguna correspondencia con Einstein de algunos científicos españoles con motivo de su viaje a España en 1923, pero en los años de residencia de Einstein en Princeton, probablemente Herrera fuera el único español que tuvo este privilegio, aparte del más probable contacto directo de Santaló durante su estancia en la prestigiosa universidad americana. Aparte de las anteriormente mencionadas sobre el paralelismo entre el modelo del Universo de Descartes y el de Einstein, Herrera pidió la intercesión del propio Einstein para lograr un puesto de asesor científico en la Unesco, correspondencia de la que se dispone de varios escritos entre Herrera y Einstein<sup>20</sup>.

En menor medida, merece señalarse igualmente el caso del matemático e historiador de la ciencia, Fernando Peña (1888-1967), exiliado en Argentina donde ejerció como profesor de Historia de la Matemática en la Universidad de Buenos Aires. Escribió un libro denominado *Evolución del pensamiento científico* (Suramericana, Buenos Aires,

---

<sup>18</sup> Herrera, carta privada escrita a Juan Aguilera en 1966 (Texto extraído del ensayo de Thomas F. Glick "Emilio Herrera y la tecnología en España" aparecido en el libro *Memorias. Emilio Herrera. Edición de Thomas F. Glick y José M. Sánchez Ron*, Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid, 1988, págs 191 y 192).

<sup>19</sup> No figura ninguno relacionado en el archivo Herrera citado y no me ha sido posible consultar el de Palacios, trabajo que dejo pendiente para posibles ampliaciones sobre el tema.

<sup>20</sup> Disponibles en el *Archivo Emilio Herrera* ya citado.



1945)<sup>21</sup> donde dedica un capítulo a la crisis prerrelativista de la física y su solución con la teoría de Einstein, así como sus implicaciones conceptuales y filosóficas. En este sentido recordemos que desde su exilio, también el filósofo García Bacca realizó aportaciones interesantes sobre aspectos filosóficos de la relatividad.

#### 4.12.2. LOS TRABAJOS SOBRE ÓPTICA RELATIVISTA DE MARTÍNEZ-RISCO EN FRANCIA

Otro de nuestros protagonistas en la época de recepción que trabajó sobre cuestiones de relatividad, en concreto sobre óptica relativista, fue Manuel Martínez Risco. Diputado por Acción Republicana, tuvo que exiliarse en París, donde murió en 1954. En Francia fue reconocido como miembro investigador del *CNRS* (*Centro National de la Recherche Scientifique*), organismo público equivalente al CSIC español. He podido localizar hasta siete escritos científicos de Martínez-Risco sobre óptica relativista, desde 1947 hasta poco antes de su muerte, publicados en *Journal de Physique* y en *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*.<sup>22</sup>

En casi todos estos trabajos hacía uso del efecto Doppler relativista para aplicaciones concretas, por ejemplo para el análisis de la forma de las imágenes de un electrón en movimiento, imágenes que se pueden obtener con ayuda del efecto Compton. Esta aplicación la realizó Martínez-Risco en dos trabajos: uno de 1947 relacionado con la experiencia del microscopio imaginario de Heisenberg, es decir un estudio teórico de las imágenes que se deberían producir por un haz electrónico difundido debido al efecto Compton<sup>23</sup>; y otro de 1948 en el que realiza una interpretación cinematográfica de las imágenes ópticas obtenidas<sup>24</sup>.

La conclusión del primer trabajo es que el análisis de la formación de imágenes debida a la difusión de rayos X de fuentes en movimiento conducen a resultados relacionados con el efecto Compton relativista. El efecto Compton hace referencia a la interacción entre un fotón y un electrón, y para describir adecuadamente dicha interacción hay que recurrir a la cinemática relativista.

---

<sup>21</sup> Existe una nueva edición con ensayo introductorio a cargo de Cobos Bueno (Editora regional de Extremadura, Mérida, 1999).

<sup>22</sup> Martínez-Risco, "Images microscopiques correspondant a un électron illuminé", *Journal de Physique*, vol 8, n° 4, 1947, p 123-128; "Les principe de Huyghens dans l'optique des corps en mouvement", *Journal de Physique*, vol 8, 1947, p 282-288; "Images microscopiques produites par un faisceau d'électrons en recul", *Journal de Physique*, vol 9, 1948; "Concept interférenciel des images optiques móviles, dans la théorie de la relativité", *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, vol 228, 1949, p 2014-2016; "Ondes planes et ondes sphériques dans les problèmes d'optiques avec mouvement relatif, cas d'un miroir mobile illuminé par un faisceau convergent", *Journal de Physique et le Radium*, serie VIII, vol X, n° 4, 1949; "Interprétation d'un phénomène interférentiel par des observateurs en mouvement relatif", *Journal de Physique et le Radium*, vol 13, n° 10, 1952, p 441-444; "Sur les modifications vectorielles inhérentes à l'effet Doppler pour des ondes se propageant dans un milieu diélectrique", *Journal de Physique et le Radium*, vol 14, n° 12, 1953, p 657- 662.

<sup>23</sup> Martínez-Risco, "Images microscopiques correspondant a un électron iluminé", *Journal de Physique*, vol 8, n° 4, 1947, p 123-128; También aparecido en castellano en la revista mejicana *Ciencia*, v 8, 1947, p 157-162.

<sup>24</sup> Martínez-Risco, "Images microscopiques produites par un faisceau d'électrons en recul", *Journal de Physique*, vol 9, 1948; ; También aparecido en castellano en la revista mejicana *Ciencia*, v 9, 1948, p 119-121.

En el segundo trabajo, que trata sobre imágenes microscópicas producidas por un haz de electrones, Martínez-Risco estudia las condiciones necesarias para la obtención de una imagen, obteniendo la ecuación de convergencia que determina la formación de una imagen puntual rigurosa. Para ello hace uso de la composición relativista de velocidades.

En otro trabajo de 1947 utiliza la aplicación relativista del principio de Huyghens<sup>25</sup>. Este principio de la física clásica postula que cuando los diferentes puntos de una superficie (a la que denominamos malla) son alcanzados por una onda luminosa, se comportan como nuevas fuentes de luz secundarias, emitiendo cada punto una nueva onda. En un instante posterior la superficie de onda de luz es la envolvente de las ondas elementales. En el caso de una onda generada por un punto central móvil se genera un frente de ondas cuya curva se conoce como la “limaçon de Pascal” o espiral de Pascal. En esta aplicación, Martínez-Risco estudia los efectos de aberración y Doppler en los casos relativistas, así como la influencia de la velocidad de la malla de puntos que generan las fuentes secundarias y cómo influyen en los diferentes espectros detectados. Para los cálculos asociados a la difracción de la luz en el caso de la malla de puntos en movimiento, utiliza los métodos clásicos de la física ondulatoria pero en vez de considerar la cinemática clásica, hace uso de la cinemática relativista. Este cálculo de la curva obtenida (espiral de Pascal) en el supuesto relativista es válido para aplicarlo en el supuesto de reflexión de espejos en movimiento.

Otro ejemplo de aplicación del efecto Doppler relativista es un método propuesto por el físico español en 1949 para el estudio en la formación interferencial de imágenes móviles<sup>26</sup>. El objeto de Martínez-Risco es establecer las condiciones para que una imagen de naturaleza interferencial debida a fuentes móviles sea percibida como si dichas fuentes estuvieran fijas. De esta forma se lograría así que la imagen percibida aparezca convenientemente focalizada. El problema surge por la dificultad de formar una imagen focalizada cuando es establecida en un caso interferencial. Para solventar dicho problema hay que buscar, con la transformación de Lorentz, un sistema de referencia en el que se cumplan las condiciones ópticas de observación para que todos los rayos converjan con la misma frecuencia, denominada frecuencia propia.

La preocupación de Martínez-Risco por los métodos interferenciales en la óptica relativista fue constante. De esta forma, en 1952 presentó otro trabajo original de indudable interés, que puede considerarse una extensión del anterior.<sup>27</sup> De este trabajo, diría Emilio Herrera que no se ha llegado a apreciar su enorme alcance revolucionario.<sup>28</sup> En los métodos interferenciales de observadores en movimiento, como por ejemplo un fenómeno interferencial visto por dos observadores en movimiento relativo, en los que las franjas de interferencia aparezcan con un

---

<sup>25</sup> Martínez-Risco, “Les principe de Huyghens dans l'optique des corps en mouvement”, *Journal de Physique*, vol 8, 1947, p 282-288.

<sup>26</sup> Martínez Risco, “Concept interférenciel des images optiques mobiles, dans la théorie de la relativité”, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, vol 228, 1949, p 2014-2016. También aparecido en castellano en la revista mejicana *Ciencia*, v 10, 1950, p 23-24.

<sup>27</sup> Martínez-Risco, “Interprétation d'un phénomène interférentiel par des observateurs en mouvement relatif”, *Journal de Physique et le Radium*, vol 13, n° 10, 1952, p 441-444.

<sup>28</sup> Emilio Herrera, “Martínez Risco y la relatividad”, *Izquierda Republicana*, México, n° 93, 1954.

determinado corrimiento, siempre podemos encontrar algún sistema de referencia para el que dichas franjas no presenten corrimiento. Aunque en principio un método interferencial es de tipo ondulatorio, se puede interpretar como si fuera corpuscular, en donde la aplicación de los principios de conservación de la energía y cantidad de movimiento confirman los resultados del método ondulatorio. Para dicho método el autor utiliza las transformaciones relativistas, que él denomina de Lorentz-Einstein, así como el efecto Doppler relativista. En virtud de la equivalencia entre masa y energía (Martínez Risco usa el término materia, en vez de masa) cierta distribución estática de la energía luminosa se comporta como una estructura material en la que se efectúa un cambio de coordenadas. El método teórico elaborado por Martínez-Risco consiste en aplicar las transformaciones de Lorentz para convertir un fenómeno de franjas en movimiento a una onda estacionaria plana.

Por último, en 1953 Martínez-Risco hizo otra aplicación particular de sus estudios teóricos.<sup>29</sup> Parte de las ecuaciones de Einstein y Laub para un campo electromagnético en un dieléctrico homogéneo e isótropo cuando el medio material está en movimiento rectilíneo y uniforme. Amplía la teoría relativista del campo electromagnético en un medio material en movimiento, concluyendo que el campo eléctrico y magnético ya no tienen, como consecuencia de dicho movimiento, las mismas direcciones que sus vectores inducidos respectivos (inducción magnética e inducción eléctrica). En consecuencia, el estudio de la propagación de ondas planas a través de un medio en movimiento depende de cuatro vectores en orientaciones diferentes. Para este estudio aplica la regla relativista de composición de velocidades y la transformación de Lorentz para la fase del frente de ondas. Concluye que aunque la composición de velocidades sea menor que la de la luz en el vacío, debe ser, en cambio, mayor que la de la luz en un dieléctrico.

A la muerte de Martínez-Risco, Emilio Herrera, le dedica un emocionado homenaje a su persona y su obra. Dicha necrológica apareció en el órgano de expresión de *Izquierda Republicana* en el exilio, publicada en México. En mi opinión este documento, más que interés científico, lo tiene tanto histórico por las circunstancias del momento (y por mostrar la tragedia de tantos ilustres exiliados españoles) como sociológico en cuanto a análisis de la ciencia española, lo que, desde mi punto de vista, valida una vez más la importancia del estudio de asimilación de teorías científicas en el ámbito de la Historia de España. Por tales motivos, y por ser en gran medida desconocido, he creído justificado transcribir el texto íntegramente

Con la reciente desaparición del profesor Martínez Risco no solamente perdió España un hijo modelo de honradez y de dignidad, incapaz de someterse a la ilegalidad aun a costa de los mayores sacrificios, un amigo leal para todos los que nos honrábamos con su amenísimo trato y un esposo ejemplar, sino que, no ya su Patria sola sino la humanidad entera, ha visto desvanecerse con él una de las figuras más geniales del mundo de la ciencia actual.

---

<sup>29</sup> Martínez-Risco, "Sur les modifications vectorielles inhérentes à l'effet Doppler pour des ondes se propageant dans un milieu diélectrique", *Journal de Physique et le Radium*, vol 14, n° 12, 1953, p 657-662.

Tres años antes, desde que el especialista consultado para la enfermedad de Fernanda, la compañera inseparable de toda su vida, le comunicó el terrible dictamen facultativo augurándole la muerte inevitable de la enferma en un plazo de un par de meses, Martínez-Risco era un hombre moralmente muerto. Después, otros dos trances cruelísimos para él: la separación de su esposa enferma en la frontera de España, con la seguridad absoluta de no volver a verla jamás y la noticia de su fallecimiento, terminaron con sus ya escasos ánimos, para no pensar, en la soledad en que se encontraba, más que en la muerte. “¡Pobre Risco!, ¡Pobre Risco!” era constante estribillo del que no podíamos sacarle los amigos que tratábamos de distraerlo y de apartarle de los sombríos pensamientos que le torturaban. El, que había sido incrédulo o indiferente en cuestiones religiosas, obsesionado por el martirio de no volver a ver más a su inolvidable muerta, se acogió a la idea de una vida futura en que pudiera encontrarla, lo que le proporcionaba algún consuelo, aunque le aumentaba su deseo de reunirse con ella. En este estado de ánimo lo encontramos sus amigos hasta el día de su fallecimiento, esperado por él con impaciencia.

Su concepto de la dignidad y su repulsa a la injusticia, a la arbitrariedad y a la ilegalidad le hicieron rechazar la colaboración que se le ofreció, espléndidamente retribuida, en organismos internacionales en que el gobierno totalitario español está admitido.

Llamado a colaborar en Francia en el “Centre National de Recherche Scientifique” con la categoría de “Maître de Recherches”, se dedicó a los estudios de la Óptica Relativista, especializándose en ellos hasta el punto de llegar a ser uno de los pocos sabios existentes que han conseguido dominar tan difícil materia, que une la complicación de la Óptica Matemática, en la que ya era catedrático en la Universidad Central de Madrid, con la abstrusa y desconcertante teoría relativista de Einstein.

Para los trabajos que ha venido publicando en el “Journal de Physique et Le Radium”, algunos traducidos al inglés, no le bastaba haber llegado a la comprensión exacta de la teoría einsteniana, ya de sí tan difícil que pocos han conseguido realizarla sin incurrir en errores de concepto que se notan incluso en la mayor parte de los tratados en que se intenta explicarla, ha necesitado, además de comprenderla, dominarla hasta el punto de poder aplicarla, por medio del cálculo, a los fenómenos ópticos.

La teoría relativista de Einstein es, sin duda alguna, la idea más genial que ha surgido en todos los tiempos en un cerebro humano. Todos los demás grandes revolucionarios de la Ciencia; Copérnico, Galileo, Newton, Maxwell,... denunciaron como falsas, explicaciones intuitivas admitidas hasta entonces para algunos fenómenos conocidos, presentando, como verdaderas, otras más intuitivas que concuerdan mejor con los hechos observados, pero únicamente Einstein ha tenido valor para encontrar una explicación de fenómenos de causa desconocida, de echar por tierra la intuición, o que vulgarmente llamamos “El Sentido Común”, para admitir la Lógica Matemática, aun en contra de la intuición como única fuente del conocimiento de la verdad.

Para explicar ciertos fenómenos luminosos, ha tenido Einstein que establecer, como postulado, un principio anti-intuitivo: el de que “la luz se propaga siempre con igual velocidad cualquiera que sea la del observador con relación al foco luminoso”; algo tan en contra del sentido común como el admitir que se recibe igual acción del viento cuando se marcha cara a él o a favor de él. De aquel principio fundamental de la relatividad, y por riguroso cálculo matemático, se deducen consecuencias en perfecta concordancia con los fenómenos observados y comprobados en otros que esta teoría ha permitido prever, siendo las más importantes las de la transformación de la energía en materia y la de la materia en energía, base y fundamento de las bombas atómicas. Pero otras, imposibles de comprobar prácticamente, pero que hay que admitir como ciertas, conducen a resultados tan asombrosos como la relatividad del Tiempo, según la cual, lo mismo que no se puede asegurar que Madrid está a la derecha de Barcelona sin fijar la posición del observador, tampoco se puede afirmar que un suceso es anterior, simultáneo o posterior a otro sin conocer la posición y la velocidad del que los considera. Se puede decir algo tan aparentemente absurdo como esto: “cuando en el tren son las doce, en la estación son las doce menos cuarto, y cuando en la estación son las doce menos cuarto en el tren son las once y media”.

Solamente prescindiendo del sentido común y siguiendo las complicadísimas operaciones matemáticas exigidas por la teoría de la relatividad, es como un escaso número de sabios, en el mundo, han llegado a especializarse y a ver claro en esta rama tan revolucionaria de la Ciencia actual. Una de estas contadas personas era el profesor Martínez- Risco.

En España esta actividad científica es hoy bien precaria, a juzgar por lo que allí se publica y donde, a causa de su manifestada oposición al macarthismo, el profesor Einstein ha sido calificado en la prensa de “fantasmón comunistoide” (las escasas personas capaces de comprender y de apreciar el mérito y el alcance de los trabajos relativistas de Martínez-Risco, como los profesores Nicolás Cabrera, Eduardo Gil Santiago, Pedro Carrasco, Honorato de Castro, y muy pocos más, se hallan todos ejerciendo sus cátedras y sus actividades científicas en el exilio, el primero en la universidad de Charlottesville (E.E.U.U), el segundo en la de Mérida (Venezuela) y los dos últimos en México). Pero en Francia, y a pesar de su condición de extranjero la obra de Risco ha sido reconocida como de extrema importancia, sobre todo por los profesores Perrin, Alto Comisario de la Energía Atómica, y Lucas en su oración fúnebre pronunciada en el acto de conducir el cuerpo del sabio español a la cripta donde quedó depositado.

A nuestro juicio no se ha llegado aún a apreciar el enorme alcance revolucionario de los trabajos relativistas de Martínez-Risco y, sobre todo, del publicado en el “Journal de la Physique et le Radium” de Octubre de 1952, en que, con cálculos irrefutables, llega a consecuencias que permiten extender el principio de la relatividad hasta la existencia misma de la materia.

Es conocidísimo el fenómeno de la interferencia en que dos rayos luminosos, en determinadas circunstancias, se interfieren y producen franjas luminosas y oscuras, a este fenómeno le ha aplicado Risco el principio de la Relatividad para estudiar como serían estas franjas con relación en movimiento, y sus cálculos conducen a este resultado sorprendente: las franjas de interferencia que para un observador son zonas inmateriales de luz y sombra, para otro observador en ciertas condiciones de velocidad, son corpúsculos materiales. Y hay que subrayar el verbo son porque en Relatividad, cada fenómeno con relación a un observador no es una apariencia sino una absoluta realidad. La longitud de un cuerpo con relación a un observador en movimiento es más corta que si el observador está en reposo; no es que lo parezca sino que es. Igualmente los corpúsculos materiales en que se convierten las franjas de interferencia, no son meras apariencias sino realidades existentes. ¿Se comprende ahora la enorme trascendencia no sólo en el dominio de la física sino en el de la Filosofía que presenta la conclusión a que ha llegado Martínez Risco en su trabajo sobre las interferencias, que quizá ni el propio Einstein se había atrevido a prever?

Un corpúsculo material que, aunque de dimensiones extremadamente pequeñas podemos considerarlo amplificado por un poderosísimo microscopio hasta revelarnos su constitución íntima, la arquitectura de sus elementos materiales, quizá formando todo un universo, incluso con seres vivos y hasta racionales (nada se opone a esta suposición), tendríamos que reconocerlo como existente, si es considerado por un observador en ciertas condiciones, o como inexistente si el observador no las cumple, y en este caso no es que el observador no lo vea, es que no existe.

¿Cómo, según esta consecuencia irrefutablemente deducida de la teoría de la relatividad descubierta por Risco, podremos considerar la realidad de todo lo existente? El Espacio es relativo, el Tiempo es relativo, ¿es que también nuestra propia Existencia es relativa?.

¿Habrá que dudar también del principio cartesiano considerado hasta ahora como el primer axioma de certeza absoluta: “PIENSO, LUEGO EXISTO”?<sup>30</sup>

#### 4.12.3. LUIS A. SANTALÓ: EL CÁLCULO TENSORIAL EN RELATIVIDAD Y TEORÍAS UNITARIAS.

Luis Antonio Santaló (1911- 2001) ha sido una de las figuras internacionales más brillantes de la matemática española, iniciando su trabajo de la mano de Julio Rey Pastor. Destacó en geometría integral y diferencial, publicando trabajos en diferentes revistas extranjeras de prestigio, así como libros traducidos a varios idiomas. En 1935 se doctoró en matemáticas por la Universidad Central de Madrid. Estuvo becado por la JAE en los años 1934 y 1935 para continuar sus estudios y trabajar en Hamburgo con

---

<sup>30</sup> Emilio Herrera, “Martínez-Risco y la relatividad”, *Revista Izquierda Republicana*, 1954, año XV, nº 93, México, Nov-Dic 1954.

Blaschke (uno de los principales responsables del desarrollo de una nueva rama de geometría, la geometría integral). Se le considera uno de los principales creadores de la Geometría Integral. También aportó resultados originales en Geometría Diferencial y otras ramas de la geometría relacionadas con Probabilidad y Teoría de Números. Por su compromiso con la República se tuvo que exiliar, logrando, gracias a Rey Pastor y Terradas, establecerse en Argentina como profesor e investigador. Previamente, por intermediación de Cartan, impartió unas conferencias en 1939 en el *Institut Henri Poincaré* de París. En 1947 obtuvo una beca para trabajar en Chicago y Princeton, donde residió más de un año para colaborar en el *Instituto de Estudios Avanzados*, coincidiendo, entre otros, con Einstein, Gödel, Herman Weil y Von Neumann.

Pudo visitar España a mediados de los 50, pero no es hasta los últimos años de la dictadura cuando ya establece contactos asiduos en su país de origen. Aunque recibió ofertas de varias universidades catalanas para regresar a España, decidió quedarse en su país de adopción, Argentina. Aun así fue miembro de la Real Academia de Ciencias de Madrid, en cuya revista, después de aparecer publicada su tesis doctoral en 1935, ya pudo publicar desde 1972. Fue nombrado doctor honoris causa por varias universidades y premio “Príncipe de Asturias” en 1983.

Santaló escribió en 1961 un excelente manual sobre cálculo vectorial y tensorial<sup>31</sup>, en el que se nota su preocupación por exponer los conceptos y desarrollos con una clara visión didáctica. De hecho, la didáctica de la matemática fue uno de sus intereses en su trayectoria profesional. En lo concerniente a la relatividad voy a destacar los aspectos más originales y que suponen alguna novedad respecto al tratamiento de la misma. Quizá el aspecto más destacable es que Santaló desarrolla el cálculo tensorial como una teoría de validez general que tiene su particularización en teorías concretas, siendo la relatividad una de éstas. En el capítulo IX “Aplicaciones de los tensores cartesianos” dedica dos apartados a la relatividad especial y a las ecuaciones relativistas de la física. En el capítulo X “Tensores en general”, después de desarrollar la derivación covariante, los espacios de conexión afín y los de Riemann, así como las curvas geodésicas y el tensor de curvatura, dedica un apartado específico a una visión sintética de la teoría de la relatividad general, en la que entra en detalle en la solución de Schwarzschild y las geodésicas del espacio de Schwarzschild. Todo ello desde una visión matemática en la que las diferentes alternativas de las teorías relativistas son caso particulares de un formalismo matemático común que deja abierta la puerta a diferentes soluciones o interpretaciones físicas.

---

<sup>31</sup> Santaló, *Vectores y tensores y sus aplicaciones*, Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1961.

Santaló plantea los diferentes temas de forma axiomática con teoremas y demostraciones que luego aplica de forma concreta a la física. Por ejemplo axiomatiza el espacio afín<sup>32</sup> de cuatro dimensiones con el siguiente teorema:

Si representamos por  $E_4$  el espacio de coordenadas  $x_1, x_2, x_3, x_4$  y por  $E_3$  el correspondiente a  $x_1, x_2, x_3$ , entonces las tres primeras componentes de un vector  $u_i$  de  $E_4$  son componentes de un vector de  $E_3$  y la cuarta componente  $u_4$  es un escalar de  $E_3$  que además es un invariante en  $E_3$ . La demostración se basa en suponer el caso particular  $a_{i4}=0$ ;  $a_{4i}=0$ ;  $a_{44}=1$ , entonces el cambio de coordenadas dado por  $u'_i=a_{ik}u_k$  ( $k=1,2,3,4$ ) se corresponde con  $u'_i=a_{ik}u_k$  ( $k=1,2,3$ ) y  $u'_4=u_4$

Otro teorema, que en realidad es una extensión del anterior, es que si  $F_{ik}$  es un tensor de  $E_4$ , sus componentes correspondientes a  $i,k=1,2,3$  son componentes de un tensor de  $E_3$ , las componentes  $F_{i,4}$  y  $F_{4,i}$  (con  $i=1,2,3$ ) son componentes de un vector de  $E_3$  y  $F_{44}$  es un escalar de  $E_3$ .

Esta idea tiene concreción en el espacio-tiempo de Lorentz-Minkowski donde  $x_1, x_2, x_3$  son las coordenadas espaciales y  $x_4=t$  el tiempo. De esta forma, se puede considerar un espacio afín de cuatro dimensiones, pero este espacio no es euclídeo ya que su métrica tiene que venir determinada por una distancia elemental que sea invariante bajo unas transformaciones lineales. Esta condición se cumple para el elemento lineal

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - c^2 dt^2$$

y las transformaciones correspondientes son las del grupo de Lorentz de la forma

$x'_i = a_{ik} x_k$ . Si el espacio fuera euclídeo el elemento lineal invariante debería ser de la forma  $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2$ , es decir  $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dt^2$ . Pero si se sustituye la cuarta coordenada por  $x_4=ict$  con  $i=\sqrt{-1}$  entonces sí cumpliría dicha condición, con lo que se podría aplicar el cálculo tensorial cartesiano de los espacios euclídeos al espacio-tiempo de Lorentz-Minkowski. Este es el motivo por el que al espacio de la relatividad especial se le denomina espacio semieuclídeo.

Un concepto importante es el tiempo propio. Para un lugar fijo (es decir con las  $x_i$  constantes) la relación entre la distancia elemental y el elemento de tiempo resulta  $ds=icdt$ . Se puede introducir la idea de tiempo propio como invariante, representado por  $\tau$  (que es el que indicaría un reloj que se moviese con la partícula), de tal forma que  $dt/d\tau = (1-v^2/c^2)^{-1/2}$

De la condición de invariancia para  $ds^2$  obtiene las conocidas transformaciones de Lorentz y la ley de composición de velocidades relativistas, que interpreta de la siguiente manera en el marco de los espacios afines. Las velocidades no se suman como vectores ya que la velocidad del espacio físico de componentes  $v_i=dx_i/dt$  no es

<sup>32</sup> Un espacio afín es aquél en el que hay una correspondencia biunívoca entre sus puntos y sus coordenadas, es decir que cada punto determina sin ambigüedad sus coordenadas y éstas al punto. Por ejemplo la superficie de una esfera como espacio de dos dimensiones no es un sistema afín porque en los polos una de las coordenadas puede tomar cualquier valor. Las coordenadas correspondientes a un espacio afín se denominan cartesianas y los sistemas de coordenadas cartesianas de un espacio afín pueden ser infinitos, pudiéndose establecer un sistema de transformaciones de coordenadas de la forma  $x'_i = \sum_k a_{ik} x_k + b_i$ . Si el cambio de coordenadas conserva el origen, la transformación es  $x'_i = \sum_k a_{ik} x_k$ .



un vector del espacio-tiempo. El vector velocidad del espacio-tiempo, llamado *cuadrivector velocidad*, tiene por componentes  $V_i = dx_i/d\tau$  (con  $i=1,2,3,4$ ) y es un vector por ser  $\tau$  un invariante. Se puede expresar de la forma  $V_i = \frac{dx_i}{dt} \frac{dt}{d\tau}$ , en definitiva  $V_i = (\alpha v_i, i c \alpha)$  con  $\alpha = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ . De esta manera se ponen de manifiesto las componentes espaciales (las tres primeras) y la temporal (la cuarta). Igualmente, por analogía con la mecánica clásica, se define el cuadrivector impulso-masa como  $P_i = m_0 V_i = (\alpha m_0 v_i, m_0 i c \alpha)$  donde  $m_0$  es la masa en reposo de la partícula en movimiento. La comparación con el vector impulso  $m v_i$  del espacio ordinario induce a definir la expresión  $m = m_0 \alpha$  como masa de una partícula que tiene velocidad  $v$ . De acuerdo con el primer teorema del espacio afín la cuarta componente de  $P_i$  debe ser un invariante del espacio físico y salvo la constante  $i c$  su valor es precisamente  $m$ .

Aunque aquí Santaló no comenta nada más de este interesante aspecto, en mi opinión es de gran trascendencia porque adelanta uno de los problemas o equívocos de la física relativista, el de la invariancia relativista de la masa, que ha sido tratado recientemente por varios autores en España, como Rivadulla<sup>33</sup> o Pérez Celada<sup>34</sup>. Digo que se adelanta al debate porque estamos en 1961 y dicho debate se produjo bastantes años más tarde, como se indica en el trabajo citado de Pérez Celada. Lo que Santaló demuestra es que la cuarta componente de un espacio afín de cuatro dimensiones es un invariante en el espacio de tres dimensiones. Para el caso de la masa, ésta sería invariante en el espacio físico de tres dimensiones, pero nada autoriza a concluir que lo sea en el de cuatro dimensiones.

En física, se dice que una ecuación o sistema de ecuaciones es *relativista* cuando es invariante respecto del grupo de Lorentz. El cálculo tensorial en el espacio de Lorentz-Minkowski será el instrumento adecuado para obtener ecuaciones relativistas, puesto que bastará tomar ecuaciones cuyos primeros miembros sean componentes de un tensor para estar seguros de ese carácter invariante (...).

Un tensor función de un punto, es decir, definido en cada punto del espacio, constituye un *campo tensorial*. Se trata de ver las distintas ecuaciones relativistas que pueden servir para definir un campo tensorial, dentro de las condiciones de máxima simplicidad.<sup>35</sup>

Este criterio de máxima simplicidad es una constante en los planteamientos de Santaló. Si tenemos que la incógnita es el escalar, función del punto, que define el campo escalar

<sup>33</sup> Rivadulla, Andrés, *Éxito, razón y cambio en física. Un enfoque instrumental de teoría de la ciencia*, ed. Trotta, págs 114-120, epígrafe IV.3 "Invariancia de los módulos de cuadrivectores en el espacio-tiempo. Invariancia relativista de la masa". Más profundamente en Rivadulla, A.; "The newtonian limit of relativity theory and rationality of theory change", *Synthese*, v 141, 2004, p. 317-429.

<sup>34</sup> Pérez Celada, Hector; *La teoría de la relatividad y su didáctica en el bachillerato: análisis de dificultades y una propuesta de tratamiento*, Tesis doctoral, Universidad de Valencia, 2003. En concreto apartado 1.3 "El debate acerca de la masa relativista", p. 13-27.

<sup>35</sup> Santaló, *Vectores y tensores y sus aplicaciones*, Buenos Aires, 1961, p. 290.

$\phi = \phi(x_1, x_2, x_3, x_4)$ , hay que ver qué ecuaciones tensoriales se pueden obtener y son las denominadas de Klein-Gordon  $\frac{\partial^2 \phi}{\partial x_i^2} - k\phi = 0$  que es la ecuación de un campo escalar.

Si la incógnita ahora es un vector  $u_i$ , un caso importante es el dado por la condición  $\partial u_i / \partial x_i = 0$  que implica la siguiente ecuación, conocida como ecuación de Proca del campo vectorial,  $\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_k^2} - k u_i = 0$ .

Si se considera un campo determinado por un tensor antisimétrico de segundo orden  $F_{ij}$  se obtienen las ecuaciones de Maxwell en forma tensorial

$$\frac{\partial F_{ij}}{\partial x_k} + \frac{\partial F_{jk}}{\partial x_i} + \frac{\partial F_{ki}}{\partial x_j} = 0; \quad \frac{\partial F_{ij}}{\partial x_j} = s_i; \quad \text{donde } s_i \text{ es un campo vectorial.}$$

Para obtener la forma usual de dichas ecuaciones en el espacio físico hay que identificar el campo eléctrico  $E_i$  con las componentes  $(F_{14}, F_{24}, F_{34})$ , el campo magnético  $H_i$  con las componentes  $(F_{23}, F_{31}, F_{12})$ , las tres primeras componentes de  $s_i$  con el vector densidad de corriente y la cuarta componente  $s_4$  con la densidad de carga. De esta forma al tensor  $F_{ij}$  se le denomina tensor electromagnético y al cuadvivector  $s_i$  densidad de corriente. Lo obtenido concuerda con el teorema del espacio afin, en el que la cuarta componente de un espacio de cuatro dimensiones es un escalar invariante en el espacio de tres dimensiones. Vemos que todas las aplicaciones físicas usadas por Santaló se basan en los teoremas que axiomatizan el espacio afin de cuatro dimensiones. Continúa aplicando los mismos desarrollos para los casos de impulso y energía, que ya omito, para concluir que, aplicando la axiomatización del espacio afin: "Vemos así como procediendo de manera casi automática, formando vectores y tensores en el espacio-tiempo, van apareciendo los elementos fundamentales de la electrodinámica clásica".

Por último hay que considerar el caso de un campo determinado por un tensor de segundo orden simétrico, que es el que ha sido aplicado con éxito para representar el campo gravitatorio. Santaló plantea que hay varias posibilidades, una de las cuales es la de aplicar la condición de conservación asociada al tensor de energía del espacio,  $T_{ij}$ , dada por  $\partial T_{ij} / \partial x_i = 0$  y que derivaría en las ecuaciones de campo establecidas por Einstein. Pero si no se impone la condición de conservación hay más posibilidades, como la establecida por la teoría de la gravitación propuesta por Birkhoff en 1944<sup>36</sup>, en la que se postulan las ecuaciones de campo de la forma  $T_{ij} = \partial^2 h_{ij} / \partial x_{kk}^2$ , donde  $h_{ij}$  es el tensor simétrico que determina el campo. Con estas ecuaciones se obtienen las de la fuerza que engendra el campo y las ecuaciones del movimiento de un punto material,

---

<sup>36</sup> El mismo Santaló nos explica que la teoría de la gravitación del matemático estadounidense Birkhoff fue publicada en el *Boletín de la Sociedad Matemática Mexicana*, vol 1, 1944, y que desde entonces la idea ha sido explotada con éxito por la escuela mexicana, especialmente por Graeff Sandoval y Barajas. Para Herman Weyl la teoría de Birkhoff es esencialmente una forma límite de la de Einstein para campos débiles. Recordemos que también Cabrera, al final de sus días en el exilio mexicano, se hizo eco de esta teoría.

donde intervienen unas constantes  $c_i$  y  $k_i$  que pueden tomar diferentes valores. Concluye Santaló resaltando la importancia del cálculo tensorial:

Vemos que en este caso de un campo definido por un tensor simétrico las posibilidades de elección para las ecuaciones de campo, o las ecuaciones de movimiento, son mucho más abundantes que en los casos anteriores. La teoría de Birkhoff mencionada explica bien los fenómenos gravitatorios, incluso los llamados tres efectos cruciales de la relatividad general de Einstein, pero es muy probable que con otros valores de las constantes  $c_i$  o  $k_i$  se obtuvieran otras teorías que también explicarían los mismos fenómenos. Lo interesante, desde el punto de vista del cálculo tensorial, es que el mismo suministra un método para obtener todas las ecuaciones relativistas posibles de carácter tensorial.

En lo referente a la relatividad general, además de la forma elegante y sencilla de desarrollarla por parte de Santaló, lo más destacable de su texto es la referencia que hace a que las ecuaciones de campo einstenianas son, en general, imposibles de integrar exactamente, pero que Schwarzschild obtuvo el elemento de línea (o de arco) en coordenadas polares,  $ds^2 = c^2(1-kr)dt^2 - (1-k/r)^{-1}dr^2 - r^2(\sin^2\theta d\phi^2 + d\theta^2)$ , para el caso simple en el que sólo existe una masa puntual invariable con el tiempo. De esta forma las trayectorias de un punto material que se mueve libremente en el campo creado por una masa puntual fija serán las geodésicas correspondientes a este elemento de arco. Santaló desarrolla en detalle el procedimiento para hallar estas geodésicas, obteniendo que en primera aproximación resulta la ecuación de una cónica (el resultado clásico newtoniano) y, contemplando todos los factores sin aproximación, se obtiene una curva similar a una elipse que gira alrededor del foco, con lo que el punto de mínima distancia al foco va girando alrededor de dicho punto. Este fenómeno es conocido como la precesión del perihelio, que será tanto más apreciable cuanto menor sea la distancia a dicho foco. De forma similar obtiene el resultado para la curvatura de los rayos luminosos.

Como hemos visto, este libro de Santaló es de indudable interés en relación a la relatividad. Pero también escribió varios artículos científicos sobre teorías de campo unificado<sup>37</sup>. En dos de ellos, aparecidos en revistas científicas argentinas en 1959 y 1960, realiza un resumen de la última teoría de Einstein del campo unificado presentada entre 1950 y 1954. Concluye Santaló que en la resolución de las ecuaciones unitarias de Einstein se obtienen sistemas incompatibles, por lo que, de momento, el “ideal perseguido” es imposible. Se refiere al ideal de modificar las ecuaciones de campo para que sigan cumpliendo con el requisito natural de simplicidad. La idea básica de la teoría de campo unificado de Einstein es que el espacio-tiempo sigue siendo de cuatro dimensiones pero su estructura está ahora

---

<sup>37</sup> Santaló, “Sobre las ecuaciones del campo unificado de Einstein”, *Rev. de Mat. y física teorica*, Universidad Tucuman, vol 12, 1959, p 31-55.; “Sobre las teorías del campo unificado”, *Rev. de la Unión Matemática Argentina*, vol 19, 1960, p 195-206; “On Einstein’s unified field theory”, en *Perspectives in Geometry and Relativity*, Indiana University Press, 1966, p 343-352. También publicó varios artículos sobre el mismo tema en revistas de divulgación argentinas que, lamentablemente, no he podido localizar; “El problema de la unificación de los campos: la última teoría de Einstein”, *Mundo Atómico*, año 4, 1953; “La última teoría del campo único de Einstein”, *Ciencia e Investigación*, vol 9, 1953; “La obra de Einstein en el campo matemático”, *Ciencia e Investigación*, julio 1955.

determinada por un tensor  $g_{ik}$  que no tiene por qué ser necesariamente simétrico y también por una conexión afín que tampoco tiene que ser simétrica. Para ello hay que introducir el concepto de densidad tensorial y un tensor de torsión. Se llega a una serie de ecuaciones tensoriales que son incompatibles porque hay más ecuaciones que incógnitas, por lo que, según Santaló la teoría de campo unificada tiene cierto grado de arbitrariedad en la elección de las ecuaciones de campo.

Un trabajo más relevante apareció en una obra colectiva, *Perspectives in Geometry and Relativity*, (Indiana University Press, 1966), lo que da una idea del prestigio internacional de Santaló. Bajo el título genérico de “On Einstein’s unified field theory”, Santaló obtiene el tensor más general  $T_{ij}$  de rango 2 con una conexión afín no simétrica que satisface las siguientes condiciones:

- Depende de la conexión y de su derivada parcial de primer y segundo orden
- Con  $T_{ij}$  y un tensor  $g_{ij}$  no simétrico se puede formar la densidad escalar  $T_{ij}g^{ij}|g|^{1/2}$  y deducir las ecuaciones de campo del correspondiente principio variacional, y aunque son complejas, se pueden expresar de un modo simple introduciendo las nuevas conexiones. De esta forma se investigan las condiciones necesarias para que las ecuaciones de campo tomen la forma más simple.

Hasta 1972 Santaló no volvería a publicar sobre relatividad, y además ya en España, lo que es otro indicio de los esfuerzos por cambiar la política científica en nuestro país, con los intentos de que destacadas personalidades de la ciencia española en el exilio volvieran a su país de origen. Estos trabajos de Santaló se analizan en el siguiente capítulo, dedicado al periodo 1970-1979.

#### 4.13. LA RELATIVIDAD EN LOS PLANES DE ESTUDIOS UNIVERSITARIOS.

Se puede afirmar que la situación de los planes de estudios universitarios sobre la física relativista fue de paulatina normalidad, incluyéndose ya desde 1944 y generalizándose desde 1953, siempre refiriéndome a las secciones de Físicas y Matemáticas de las facultades de Ciencias. La única excepción fue la impartición por parte de Palacios en la Universidad de Madrid de un curso de relatividad como asignatura optativa, en el que enseñaba su propia teoría alternativa, contraria a la de Einstein.

Es necesario aclarar que no he podido realizar un repaso exhaustivo de los correspondientes planes de todas las facultades de ciencias de la época, al contrario de lo realizado con las revistas científicas, sino una muestra que creo suficiente y significativa para obtener la conclusión anterior.

En el decreto del 7 Julio 1944 en el que se regulan dichos planes de estudios, en el cuarto curso de las secciones de matemáticas y físicas de las facultades de ciencias aparece la asignatura obligatoria *Mecánica teórica* con la indicación expresa de contenidos sobre “principios de Dinámica analítica y mecánica relativista”.<sup>1</sup>

En la siguiente regulación sobre planes de estudios (1953), en cambio ya no se concreta el contenido de la asignatura *Mecánica teórica*, aunque previamente se establece que cada facultad adaptará particularmente dichos planes establecidos oficialmente. Como novedad, en cuarto y quinto curso de las secciones de físicas se incluye “una o dos asignaturas optativas entre las que cada Facultad ofrezca”.<sup>2</sup>

En la Universidad de Madrid, en la mencionada asignatura *Mecánica teórica*, vemos que en su contenido se dedica una parte importante a la relatividad, denominada “Elementos de mecánica relativista”, con 16 lecciones. También otras asignaturas incluían apartados dedicados a esta disciplina. Esta información se ha obtenido del anuario de la Universidad de Madrid. En cambio, los correspondientes anuarios de otras universidades no incluían los contenidos, como la de Barcelona o Zaragoza, aunque esta última sí el de cursos de doctorado, donde había uno sobre relatividad. Otro problema añadido para recabar esta información es que las universidades no publicaron todos los años anuarios con los planes de estudios, pero insisto en que con la información obtenida se puede concluir la asimilación de la relatividad como “ciencia normal” en España a mediados del siglo pasado en cuanto a impartición de estudios, aunque no en labor investigadora, que se inicia más tarde, a principios de los años setenta.

Centrémonos pues en el caso de la Universidad de Madrid, donde he podido obtener mayor volumen de información, en concreto los anuarios de los cursos 1956-57 hasta 1961-62.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> BOE nº 217, 4 Agosto 1944, pág 5929 para sección de matemáticas y p. 5930 para sección físicas.

<sup>2</sup> BOE nº 241, 29 Agosto 1953, pág 5187.

<sup>3</sup> *Anuario de la Facultad de Ciencias*, Universidad de Madrid, 1956.

En la asignatura *Física teórica y experimental* (3º curso de Físicas, catedrático Luis Bru Villaseca), en la parte de electricidad, en la lección 15 “La Naturaleza de la luz” hay un epígrafe sobre relatividad. La lección 27 se denomina “óptica relativista” e incluye: experimento de Michelson Morley, dilatación del tiempo y contracción del espacio, óptica de cuerpos en movimiento y efecto Doppler, masa, momento y energía del fotón. La lección 34 sobre la ecuación de Schrödinger incluye la generalización de la ecuación de ondas al caso relativista.

La asignatura *Electricidad y Magnetismo* (4º curso de la sección de Físicas), cuyo catedrático era Baltá Elías incluía una parte con cuatro lecciones denominada “Electrodinámica de cuerpos en movimiento”. Estas lecciones incluían el experimento de Trouton y Noble, la teoría de Lorentz del electromagnetismo y la incompatibilidad con la mecánica clásica, inducciones eléctrica y magnética de sistemas móviles, ecuaciones generales de la electrodinámica, grupo de transformaciones de Lorentz e invariancia de las ecuaciones de Maxwell, ecuaciones de Maxwell en forma tetradimensional, relatividad de Einstein, variación de la masa con la velocidad, masas longitudinal y transversal, equivalencia entre masa y energía y aplicación a la física nuclear. Esta parte, incluida en el plan de 1956-1957, se eliminó en los años siguientes, probablemente porque era un temario muy parecido al de otra asignatura obligatoria del mismo curso, *Mecánica teórica*. No cabe otra explicación ya que hemos visto que Baltá Elías no tenía dudas sobre la validez de la relatividad.

En la asignatura *Mecánica teórica*, obligatoria y común en las secciones de Matemáticas y Físicas de cuarto curso, llama la atención el grado de detalle y profundidad con el que se trata la relatividad. El catedrático responsable era Francisco Navarro Borrás. El curso se dividía en tres partes, siendo la tercera “Elementos de Mecánica relativista” y constaba de 16 lecciones: Observaciones generales y crítica de algunos principios de la Mecánica clásica; Experimentos que conducen a una concepción relativista de la mecánica; La transformación de Lorentz; Consecuencias de la transformación de Lorentz y explicación de algunos fenómenos; La transformación de las ecuaciones de Maxwell para el vacío; Representación geométrica de la transformación de Lorentz; Los conceptos fundamentales de la Mecánica de Minkowski; El universo de Minkowski; Teoría de la relatividad general; Recapitulación de los conceptos de teoría de superficies; Expresión analítica del campo gravitatorio; El principio general de la relatividad; Otras relaciones con la teoría de superficies y las geometrías no euclídeas; La ley fundamental de Einstein; Nociones fundamentales sobre cálculo tensorial; Desplazamiento paralelo infinitesimal de un vector; Curvatura de una variedad de  $n$  dimensiones; La dinámica analítica relativista; Las ecuaciones de campo gravitatorio y el movimiento de los planetas (incluye el método de Schwarzschild).<sup>4</sup>

En el Plan de estudios de la licenciatura de Ciencias, sección de Físicas, en los cursos cuarto y quinto, los alumnos tenían que estudiar tres asignaturas adicionales según los grupos establecidos; en el grupo de Física Teórica de quinto curso las

---

<sup>4</sup> Para más detalle del contenido se puede consultar *Anuario de la Facultad de Ciencias 1956-1957*, Universidad de Madrid 1956, p 98 a 100.

asignaturas eran Astrofísica, Relatividad y Física Nuclear, aunque de estas dos últimas no se detalla el contenido.

La asignatura *Astrofísica* incluía temas de presión de radiación, espectroscopia, dinámica estelar, ionización de materia estelar, relación masa-luminosidad de Eddington, constitución interna de estrellas. Estrellas gigantes, supernovas, enanas blancas, hipótesis de evolución estelar y evolución del Universo. Como vemos aunque no se cita nada explícitamente de relatividad, por los temas algo es seguro que se tratara. Más cuando el catedrático era Enrique Gullon de Senespleda, de quien hemos visto anteriormente que trató en profundidad temas de degeneración relativista de gases en el caso de estrellas enanas blancas.

De la asignatura *Relatividad*, en el anuario 1956-57 no se indica ni contenido ni responsable, pero en el del curso siguiente ya aparece como profesor el catedrático de Termología Julio Palacios y en la parte de contenido se concreta:

Se expondrá la teoría de la relatividad de Einstein y sus aplicaciones a los fenómenos mecánicos, ópticos y electromagnéticos, utilizando el espacio de cuatro dimensiones de Minkowski, y **estudiando la posibilidad de reemplazar las ecuaciones de Lorentz por otras que estén libres de las consecuencias paradójicas** a que conducen las primeras, en lo que atañe al comportamiento de los relojes.<sup>5</sup>

En el curso 1961-62 esta asignatura se eliminó de las optativas del grupo de física teórica de quinto curso y se pasó a curso específico de doctorado.

En la Universidad de Zaragoza, en el correspondiente anuario (*Memoria anual de la Universidad de Zaragoza*), no se concreta el contenido de las asignaturas, pero el catedrático responsable de la asignatura *Mecánica teórica* era José María Iñiguez Almech, reconocido relativista. Además publicó un libro con el título *Mecánica teórica clásica y relativista*, ed Dossat, 1965. En el curso de inauguración de la Academia de Zaragoza dice que el motivo por el que elige el contenido del discurso, dedicado en gran parte a la relatividad, es porque se corresponde con la asignatura que imparte. Luego es seguro que en esta asignatura se incluían temas de relatividad.

En cambio, en los planes de estudio de la Universidad de Zaragoza sí aparece el contenido de los cursos de doctorado, donde había uno denominado *Mecánica relativista*, impartido también por dicho catedrático. El contenido es el siguiente: Vectores en coordenadas cartesianas oblicuas: componentes covariantes y contravariantes; Tensores en coordenadas cartesianas oblicuas; Seudotensores, Vectores y tensores en coordenadas curvilineas, Símbolo de tres índices; Derivación covariante; Tensor de Riemann-Christoffel; Postulados de Relatividad especial; Formulación de las ecuaciones de Mecánica en relatividad especial; Universo de Minkowski; Consecuencias de la relatividad especial. Masa de isótopos, choque de electrones o núcleos en ausencia de fuerza, electrón en campo magnético; Postulados de la relatividad general; Fórmula de Einstein para la gravitación; Movimiento planetario, desplazamiento del perihelio de Mercurio; Desplazamiento aparente de

---

<sup>5</sup> *Anuario de la Facultad de Ciencias 1957-1958*, Universidad de Madrid 1957, p 137. (El destacado es mío).

estrellas próximas al Sol; Forma del Universo. teorías estáticas de Einstein y de Sitter; Teorías dinámicas de Lemaître y Eddington; Teoría dinámica de Tolman; El Universo en expansión y la edad del Universo.<sup>6</sup>

También sabemos que desde 1946 se impartía un curso de doctorado sobre mecánica cuántica, que incluía cuestiones de mecánica relativista y mecánica cuántica relativista, incluida la ecuación de Dirac, según indicación del propio Iñiguez Almech en el prólogo del libro *Mecánica Cuántica* (1949), que incluía dichas materias.

En cuanto a la Universidad de Barcelona, los respectivos anuarios no incluían contenidos detallados de las asignaturas. Sólo en una asignatura, *Mecánica teórica*, del cuarto curso de las facultades de Ciencias del plan de 1950 se incluye un subtítulo con el nombre de “Principios de dinámica analítica y mecánica relativista”. En 1956 los catedráticos cuyas asignaturas es probable que estuvieran relacionadas con la relatividad eran: Antonio Torroja Miret (Geometría descriptiva), José María Orts (Análisis matemático), Francisco Sansvisens Marfull (Mecánica racional y mecánica celeste), Joaquín Febrer Carbó (Astronomía General), Jesús María Tharrats Vidal (Física Matemática). Como vemos, dos de ellos, José María Orts y Tharrats destacaron como físicos teóricos que trataron la relatividad como teoría establecida.<sup>7</sup>

En el plan de 1967, como novedad hay que citar a Luis María Garrido Arilla como catedrático de física matemática (recordemos que Garrido trató en profundidad temas de mecánica cuántica relativista). En los estudios de doctorado predominaban cursos específicos sobre plasma termonuclear, modelos nucleares o técnicas nucleares.

En definitiva, creo que con los ejemplos anteriormente indicados se comprueba la “normalidad” de la enseñanza oficial de la Teoría de la Relatividad en España, salvo la indicación hecha de la Universidad de Madrid por la indudable influencia de Palacios.<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> *Memoria Anual de la Universidad de Zaragoza 1954-1955*, p 139-140.

<sup>7</sup> *Anuario Universidad de Barcelona*, Universidad de Barcelona, 1956.

<sup>8</sup> Aún así, esta es una información oficial de planes de estudios y puede no reflejar la realidad de lo ocurrido. Quizá, para mayor rigor histórico sería interesante realizar un proyecto de historia “oral”, entrevistando a los protagonistas, tanto profesores como alumnos, para confirmar si los planes oficiales en cuanto a relatividad se hicieron efectivos. Lamentablemente, este proyecto, sin duda interesante, está fuera del alcance del presente trabajo.





## **5. LA RELATIVIDAD COMO NUEVO CAMPO DE INVESTIGACIÓN EN ESPAÑA (1970-1979)**

Los primeros años setenta suponen el comienzo de la labor investigadora organizada sobre relatividad en España, con la creación de un grupo específico de investigadores, cuya cabeza visible es Lluís Bel. Tres hechos señalan claramente este proceso: la realización de tesis doctorales sobre relatividad, la publicación significativa de trabajos en revistas especializadas extranjeras y el comienzo de los Encuentros Relativistas Españoles. Dos temas protagonizan el esfuerzo de los científicos españoles: la Mecánica Predictiva Relativista y la teoría cinética de la cosmología relacionada directamente con la termodinámica relativista. Indirectamente esta última disciplina derivará en el estudio, por parte de algunos españoles, de los cuásares y los pulsares. Por supuesto, también hay otros temas genéricos de relatividad que se analizan en este capítulo. Este auge de la labor investigadora en España hay que contemplarlo en el ámbito general de la renovación paulatina de la ciencia española desde principios de los años setenta, con la creación de las universidades autónomas y la vuelta de algunos de los más prestigiosos científicos españoles en el extranjero, como es el caso de los especialistas en relatividad Lluís Bel y Lluís Mas.

Como hemos visto anteriormente, en el apartado 4.1, el impulso del GIFT (*Grupo Interuniversitario de Física Teórica*) fue fundamental en la nueva dirección investigadora sobre relatividad. En los planes de los cursos del GIFT se incluyeron, a partir de 1973, cursos específicos de "Mecánica Relativista Predictiva", para impartir en las universidades autónomas de Madrid y Barcelona. Se planificó un curso específico de "Relatividad General y Cosmología", previsto para Diciembre de 1975, que no se llegó a celebrar.

Se creó un grupo de relatividad del GIFT dirigido por Lluís Bel y se pensó en crear también uno de Astrofísica, aunque no se llegó a completar.

Como vimos anteriormente, desde 1968 el GIFT comenzó a realizar congresos internacionales de Física Teórica, aunque no hubo ninguno dedicado específicamente a relatividad. Probablemente influiría en este hecho el que, desde 1976 empezaron los *Encuentros Relativistas Españoles*, organizados por miembros del grupo de Lluís Bel, como Jesús Martín.

Los congresos organizados por el GIFT desde 1972 (los dos anteriores ya se han tratado en el apartado 4.1) son los siguientes:

1. *III GIFT Seminar in Theoretical Physics*, Universidad de Madrid, Marzo 1972, *Broken symmetries*.
2. *IV GIFT Seminar in Theoretical Physics*, Universidad de Barcelona, Abril 1973, *Strong interactions and high energies*.
3. *V GIFT Seminar in Theoretical Physics*, Zaragoza, Junio 1974, *Some topics in weak interaction*.
4. *VI GIFT Seminar in Theoretical Physics, Teoría Cuántica de Campos* dirigido por Luis Boya.

5. *VII GIFT Seminar in Theoretical Physics*, 1976, L'Escala, *Phenomenology of particle physics*.
6. *VII GIFT Seminar in Theoretical Physics*.
7. *International Seminar on Theoretical Physics, Topics in quantum field theory and Gauge theories: Held by GIFT in Salamanca*, Junio 1977.
8. *International Seminar on Theoretical Physics, IX GIFT Seminar in Theoretical Physics*, Jaca, 1978, *Nonlinear problems in theoretical physics*.

Como podemos comprobar la mayoría de estos congresos del GIFT eran sobre física atómica, nuclear, altas energías, teoría cuántica de campos, etc.

Otros hechos importantes de esta década para nuestra historia fue el comienzo, en 1975, de la primera *Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, que se repetirá cada dos o tres años, y el de los *Encuentros Relativistas Españoles*, a partir de 1977 y que se celebrarían con una periodicidad anual. Estos congresos se tratan en el apartado 5.4. La organización de los de astronomía y astrofísica estaba evidentemente relacionada con el despegue de la astrofísica en España, con ejemplos como la creación del *Instituto Astrofísico de Canarias* en torno al Observatorio del Teide, así como la instalación de un radiotelescopio en Yebes en 1975, lo que permitió el arranque en nuestro país de la radioastronomía.

Desde el punto de vista puramente bibliográfico, cabe destacar que los *Anales de la R. Soc. Esp. Física y Quím.* dejaron ya de ser el principal medio de difusión de los físicos españoles, por lo menos en lo concerniente a la relatividad, que empezaron ya a publicar de forma regular en revistas extranjeras.

Los principales temas motivo de trabajos científicos sobre relatividad en estos años fueron los siguientes: la mecánica relativista predictiva, la termodinámica relativista (y en concreto la teoría cinética de la cosmología) y otros temas genéricos de relatividad, como soluciones de las ecuaciones de campo, métricas, aplicación a la electrodinámica, teorías unitarias. Estos grupos temáticos se tratan a continuación en los sucesivos apartados.

## 5.1. MECÁNICA RELATIVISTA PREDICTIVA

La Mecánica Relativista Predictiva (MRP) tiene su origen en su equivalente de la mecánica clásica, que en realidad es una teoría de sistemas aislados de N partículas puntuales sin estructura. La MRP se basa en el Principio de Predictividad y el Principio de Relatividad.

Según el primer principio, la evolución de un sistema aislado de N partículas viene dada por un sistema de ecuaciones diferenciales de segundo orden de la forma

$$v_a^j = \frac{dx_a^j}{dt} \quad ; \quad \frac{dv_a^j}{dt} = A_a^j(x_b^j, v_c^k; t)$$

donde  $x_a^i$  son las coordenadas de posición en el instante t de la partícula "a", referidas a un sistema inercial,  $v_a^i$  las componentes de las velocidades correspondientes y las funciones  $A_a^i$  caracterizan la interacción considerada. Los índices son i, j, k = 1,2,3; a,b,c = 1,2,..., N. A este sistema lo denominamos sistema diferencial.

El principio de Predictividad establece que, en un instante  $t_0$ , el movimiento de cada partícula está determinado por el conocimiento de las posiciones ( $x_{a0}^i$ ) y velocidades ( $v_{b0}^j$ ).

Por el principio de relatividad, el sistema diferencial anteriormente definido debe ser el mismo cualquiera que sea el sistema de referencia considerado o, de otra manera más precisa, que dicho sistema sea un Sistema Predictivo Invariante bajo el Grupo de Poincaré.

Un Sistema Predictivo Invariante es aquél en el que existen una familia de curvas, dadas por ecuaciones paramétricas, que son invariantes bajo un grupo determinado, por ejemplo el de Galileo en la Mecánica Clásica o el de Poincaré en la relativista.

El grupo de Poincaré se define, considerando  $c=1$ , como la familia de transformaciones

$$x^{\alpha'} = L_{\beta}^{\alpha'}(x^{\beta} - A^{\beta})$$

donde

$$L_0^{0'} = \Gamma = \frac{1}{1 - v_i v_i} \quad ; \quad L_i^{0'} = -\Gamma v_i \quad ; \quad L_0^{k'} = -\Gamma v_i R_j^{k'} \text{ siendo } o \text{ y } o' \text{ los orígenes de los}$$

sistemas S y S' respectivamente.

Esta familia de transformaciones forman grupo, según la teoría matemática de grupos, propia del álgebra con aplicaciones en geometría. El Grupo de Lorentz sería un subconjunto concreto del Grupo de Poincaré.

En realidad, la Mecánica Relativista Predictiva de Sistemas Aislados la formuló Dirac en 1949, pero no se aplicó a un caso particular hasta 1963. Esta teoría se reformuló en

los años 60 gracias a Currie, Hill y el propio Bel, quien en 1970 demostró la compatibilidad de la mecánica predictiva con el principio de relatividad.<sup>1</sup>

Según Bel, el principio de predictividad puede parecer en principio incompatible con el de relatividad, lo que es un error, y “este error ha sido la causa de que la Dinámica Relativista de los sistemas no haya sido, sino tardíamente, objeto del estudio que la importancia del problema justificaba”. La base del error residía en que, al contrario de lo que ocurría en mecánica clásica, el Principio de Relatividad es una propiedad de la integral general del sistema diferencial inicialmente considerado, y no una propiedad del sistema diferencial por sí mismo. Además, en la propiedad de invariancia existe una dificultad con la transformación de la coordenada temporal, que es distinta para cada partícula. Este es uno de los motivos por el que tradicionalmente se ha tratado la dinámica de sistemas aislados, relacionado con el problema clásico de los N cuerpos, en el marco de la mecánica clásica y no en el de la relativista, laguna que vino a solventar Bel, en una serie de trabajos suyos, junto con otros colaboradores, principalmente Jesús Martín y Ramón Lapiedra.<sup>2</sup>

En 1970 Bel dio comienzo a este intento, al considerar las ecuaciones diferenciales de partida para aplicarlas al caso de N partículas y definir los Sistemas Invariantes bajo el Grupo de Poincaré. Estableció las condiciones necesarias y suficientes para que exista un sistema invariante, aplicándolo a los sistemas de N partículas y en detalle al de dos partículas.<sup>3</sup>

Al año siguiente presenta su teoría completa sobre MRP<sup>4</sup>, lo que le vale para aplicar la definición de Sistemas Invariantes al cálculo de la energía, momento cinético, momento angular y centro de masas de un sistema de partículas, así como al hamiltoniano de los sistemas invariantes.

La relación de trabajos de Bel y colaboradores suyos españoles es muy extensa en los años setenta, lo que da idea de una contribución realmente productiva y significativa de la Física española en esta disciplina. De la importancia de esta producción da cuenta la extensa relación de autores españoles: Ramón Lapiedra, Jesús Martín, Xabier Fustero, A. Salas, José Luis Sanz, E. Verdaguer, V. Iranzo, Lluís Mas, C. Bona y José Manuel Sánchez Ron (quién posteriormente se significará como uno de los más relevantes historiadores de la ciencia en España, incluyendo publicaciones sobre la historia de la relatividad).

De esta relación de físicos españoles que trabajaron sobre MRP, la mayoría pertenecían a los Departamentos de Física Teórica de la Universidad Autónoma de

<sup>1</sup> Información extraída de Bel, “Predictive Relativistic Mechanics”, *Ann. Inst. H. Poincaré*, 14, 1971, pag 189-203.

<sup>2</sup> Luis Bel, “Dynamique des Systemes de N Particules Pontuelles en Relativité Restrinte”, *Ann. Inst. H. Poincaré*, 12, 1970, pag 307; Luis Bel y Xavier Fustero, “Mécanique relativiste prédictive des systèmes de N particules”, *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, 25 no. 4 (1976), p. 411-436; Luis Bel y Jesús Martín, “Predictive relativistic mechanics of systems of N particles with spin”, *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, 33 no. 4 (1980), p. 409-442; L. Bel y J. Martí, “Predictive relativistic mechanics of systems of N particles with spin. II. The electromagnetic interaction”, *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, 34 no. 2 (1981), p. 231-252.

<sup>3</sup> Lluís Bel, “Dynamique des systèmes de N particules poctuelles en relativité restrinte”, *Annales de l'institut Henri Poincaré, section A*, v 12, nº 3, 1970, p 307-321.

Madrid y de la Universidad de Barcelona. A la UAM pertenecían Jesús Martín, Lluís Bel, A. Salas, J.L. Sanz y Sánchez Ron. A la de Barcelona, Lapiedra, Fustero, Mas, Bona y Verdaguer. Algunos también fueron becados por el GIFT (Martín, Lapiedra, Mas y Fustero).

Bel presentó en 1973, ya como miembro del Departamento de Física Teórica de la Universidad Autónoma de Madrid, junto con A. Salas y Sánchez Ron (también del mismo departamento), una aplicación de la MRP a la interacción electromagnética<sup>5</sup>, trabajo aparecido en la prestigiosa revista británica *Physical Review*. Esta revista sería el principal medio de expresión de los miembros de este departamento para temas de relatividad, aparte de los *Annales de l'Institut Henri Poincaré* por las lógicas relaciones de Bel con dicho instituto francés. Bel, Salas y Sánchez Ron resuelven las ecuaciones de la mecánica relativista predictiva para el caso de dos partículas puntuales sin estructura que interactúan electromagnéticamente. En realidad, han desarrollado una técnica de perturbaciones, o método recursivo, para resolver ese tipo de ecuaciones, usando el formalismo covariante. Para ello obtienen soluciones para el problema relativista de los dos cuerpos en un caso particular, el del movimiento uniforme circular. Estas soluciones permiten un estudio numérico del problema en el caso general en que se conozcan las velocidades de las partículas.

Bel y su discípulo Jesús Martín extendieron el trabajo anterior para aplicarlo a dos casos particulares: el primero en que la razón entre las dos masas es muy pequeña<sup>6</sup> y el segundo en el supuesto de una interacción escalar de corto alcance.<sup>7</sup> El primer caso ya fue tratado por Synge en 1941 aunque sin hacer uso de la MRP.

En solitario, Bel presentó una interesante novedad formal al definir el Hamiltoniano de los Sistemas Invariantes bajo el Grupo de Poincaré, en el que dicho grupo se formula mediante las transformaciones canónicas. Hace uso para ello del Álgebra de Lie y de la teoría de homomorfismos, obteniendo el lagrangiano y las ecuaciones generales para el caso de las dos partículas.<sup>8</sup>

Otro de los jóvenes físicos en trabajar sobre MRP fue Ramón Lapiedra, quien defendió en 1973 su Tesis Doctoral, *Mecánica relativista predictiva de dos cuerpos e invariancia por paridad*, en el Departamento de Física Teórica de la Universidad de Barcelona bajo la dirección de Antonio Fernandez-Rañada. Anteriormente ya se doctoró por la Universidad de París con la Tesis *Sur les équations d'ordre supérieur du champ gravitationnel et les équations du champ électromagnétique en relativité générale*, 1969.

En diciembre de 1972 el *Institut d'Estudis Catalans* acordó adjudicar una beca para Ramón Lapiedra, con el objeto de realizar un estudio sobre la Mecánica Relativista

---

<sup>4</sup> Lluís Bel, "Predictive relativistic mechanics" *Annales de l'Institut Henri Poincaré, section A*, v 14, nº 3, 1971, p 189-203.

<sup>5</sup> Lluís Bel, A. Salas y J.M. Sánchez Ron, "Approximate solutions of Predictive Relativistic Mechanics for the Electromagnetic Interaction", *Physical Review D*, v 7, n 4, 1973, p 1099-1106.

<sup>6</sup> Bel y J. Martín, "Approximate solutions of Predictive Relativistic Mechanics for the Electromagnetic Interaction II", *Physical Review D*, v 8, n 12, 1973, p 4347-4353.

<sup>7</sup> Bel y J. Martín, "Approximate solutions of Predictive Relativistic Mechanics for short-range scalar interactions", *Physical Review D*, v 9, n 10, 1974, p 2760-2766.

Predictiva. En 1975 se acordó publicar dicho estudio bajo el título *Les equacions de la mecànica relativista predictiva. Una família de solucions*<sup>9</sup>. Es digna de elogio la labor del *Institut*, que logró mantener un cierto nivel de actividad durante la dictadura, en parte gracias a sus buenas relaciones internacionales. De hecho, en esos años estaban prohibidas las publicaciones en catalán. Oficialmente el *Institut* recobró la legalidad en 1976.

En resumen, el trabajo de Lapiedra consiste en reducir el sistema de ecuaciones diferenciales de la MRP a un sistema más simple, “cuasi-lineal”, lo que permite un conjunto concreto de soluciones. De esta forma se definen unos operadores diferenciales, que aparecen en las nuevas ecuaciones de la MRP y se pueden caracterizar geométricamente. Lapiedra aplica su caso al estudio del clásico problema de las N partículas y en concreto al de las dos partículas, usando el formalismo cuadrimensional de la MRP, realizando la integración del sistema obtenido y proponiendo un conjunto particular de soluciones a las nuevas ecuaciones.

Los mismos colaboradores anteriores de Bel, Salas y Sánchez-Ron, trabajaron sobre las soluciones de la MRP en la Electrodinámica Clásica.<sup>10</sup> Desarrollaron una modificación del método recursivo establecido anteriormente para resolver las ecuaciones de interacción de dos partículas cargadas. Ahora esta solución es aplicable a la electrodinámica de Wheeler y Feynman<sup>11</sup>, lo que demuestran.

Profundizando en el hamiltoniano del Sistema Predictivo Invariante bajo el Grupo de Poincaré, Bel y Jesús Martín definieron una forma hamiltoniana que tiene asociado un sistema conservativo, lo que les permite calcular la energía-momento y el momento intrínseco angular para interacciones escalares y vectoriales en el marco de la relatividad restringida.<sup>12</sup>

Otra profundización de Lluís Bel en el marco de la MRP, ahora en colaboración con Xabier Fustero (que firma como becario del GIFT), es el estudio de sistemas de N partículas en el que se realiza un desarrollo por el cual muchos problemas resueltos por la MRP pueden formularse en términos de funciones y ecuaciones integrales. Lo aplicaron para el cálculo de formas hamiltonianas y funciones generatrices del Grupo de Poincaré, así como para la integración de los sistemas invariantes, con lo que lograron construir un sistema predictivo invariante para los fenómenos de interacción escalar y vectorial.<sup>13</sup>

José Luis Sanz y Jesús Martín desarrollaron en 1976 una técnica perturbativa que permitía el cálculo recurrente de las aceleraciones en el estudio de los sistemas no

---

<sup>8</sup> Lluís Bel, “Hamiltonian Poincaré invariant systems”, *Annales de l’Institut Henri Poincaré*, section A, v 18, nº1, 1973, p 57-75.

<sup>9</sup> Ramón Lapiedra, *Les equacions de la mecànica relativista predictiva. Una família de solucions*, Societat catalana de Ciències físiques, químiques i matemàtiques, Institut d’Estudis Catalans, Barcelona, 1976.

<sup>10</sup> A. Salas y J.M. Sánchez-Ron, “Predictive Solutions of Classical Electrodynamics”, *Il Nuovo Cimento*, v 20B, nº 1, 1974, p 209-223.

<sup>11</sup> La nueva teoría de la electrodinámica de Wheeler y Feynman se refiere a la interacción entre dos partículas no como campo (como se estipulaba en la electrodinámica) sino en términos de acción directa de las partículas mediante procesos de absorción de radiación.

<sup>12</sup> Lluís Bel y Jesús Martín, “Formes hamiltoniennes et systèmes conservatifs”, *Annales de l’Institut Henri Poincaré*, section A, v 22, nº 3, 1975, p 173-199.

aislados de dos partículas puntuales sin estructura, también en el ámbito teórico de la MRP, y en el caso en que la interacción de las partículas está sometida a fuerzas externas. Dicho método recursivo se basaba en la expansión de las correspondientes funciones en series de potencias. Lo aplicaron al análisis de la interacción del sistema con un campo electromagnético externo<sup>14</sup>. En este año Jesús Martín estuvo en París en un equipo de investigación del CNRS dirigido por Lluís Bel, firmando este trabajo como miembro de dicho equipo.

José Manuel Sánchez Ron también se aproximó a cuestiones de MRP, cuando estuvo trabajando en Londres en 1976 en el Departamento de Física y Astronomía del *University College London*. Según Sánchez Ron, la MRP puede estar de acuerdo con la formulación de la teoría relativista de acción a distancia en el caso de interacción de dos partículas puntuales sin estructura. En concreto ha demostrado ser consistente con los modelos relativistas en la interacción electromagnética de corto alcance, aunque sólo como posibilidad hipotética. El propósito del autor es extender esta aplicación de la MRP a la interacción gravitatoria (referida a corta distancia, es decir entre partículas puntuales) y siempre como hipótesis teórica.<sup>15</sup>

Ramón Lapiedra y Lluís Mas estudiaron, también en 1976, el problema de los dos cuerpos en el marco de la electrodinámica relativista haciendo uso de la MRP. Con ello determinaron la aceleración, momento y momento angular correspondientes. A los requisitos de la MRP imponen algunas condiciones de simetría, como la temporal, y la extensión relativista de la ley de Coulomb.<sup>16</sup>

El único artículo sobre MRP aparecido en los *Anales de la R. Soc. Esp. Física y Quím.* estuvo a cargo de Lapiedra y del físico francés Musons.<sup>17</sup> Consideraron el caso de interacción de dos partículas aisladas dentro del ámbito de la mecánica relativista predictiva. Plantearon las ecuaciones de la dinámica del sistema, que deben ser invariantes bajo traslaciones en el espacio de Minkowski ( $M_4$ ), y estudiaron el caso particular de una reflexión en dicho espacio, donde demuestran la invariabilidad bajo traslación en  $M_4$ , en concreto un tipo reflexión del cuádrimomento y del tensor momento angular. Aplicaron el cálculo del momento angular al caso del Lagrangiano de Darwin, que ofrece una descripción aproximada de la interacción electromagnética entre dos partículas cargadas con un orden de  $1/c^2$ . En átomos pesados cuyos electrones más internos se mueven con velocidades próximas a las de la luz hay que tener en cuenta los efectos relativistas. Los cálculos de estructuras atómicas se basan en la ecuación de Dirac (originariamente para un electrón) adaptada a varios electrones. En estos cálculos hay que considerar tres efectos de origen relativista, la corrección masa-velocidad, la interacción de acoplamiento espín-órbita (cuyo efecto

<sup>13</sup> Lluís Bel y Xabier Fustero, "Mécanique relativiste prédictive des systèmes de N particules", *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, section A, v 25, n° 4, 1976, p 411-436.

<sup>14</sup> J. Luis Sanz, Jesús Martín, "Systèmes non isolés de deux particules ponctuelles dans la cadre de la mécanique relativiste prédictive" *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, section A, v 24, n° 4, 1976, p 347-358.

<sup>15</sup> J.M. Sánchez-Ron, "Approximate solutions of predictive relativistic mechanics for the gravitational interaction", *Journal of Physics A*, v 9, n° 11, 1976, p 1877-1885.

<sup>16</sup> R. Lapiedra y L. Mas, "Tyme-symmetric classical electrodynamics for two particles up to order  $1/c^5$ ", *Physical Review D*, v 13, n 10, 1976, p 2805-2810.

<sup>17</sup> Lapiedra y Mussons, "On momentum and angular momentum in predictive relativistic mechanics", 109-113, *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 72A, 1976, p 109-113.



son fácilmente medibles experimentalmente y son fundamentales considerarlos en espectroscopía electrónica), y el desplazamiento de la energía de los electrones de la capa  $s$ , conocido como fluctuación de Darwin que tiene asociado un lagrangiano conocido como lagrangiano de Darwin. Este efecto o fluctuación consiste en que aunque los efectos relativistas tienden a contraer las órbitas de los electrones más internos y a aumentar sus energías de enlace, debido a que todos los electrones están acoplados entre ellos, los electrones más externos quedan afectados, aunque muy ligeramente, por los efectos relativistas.

En 1977, Fustero, Mas y Lapiedra elaboraron una teoría de interacción, basada en la MRP, entre un monopolio magnético y una carga eléctrica, definiendo el vector cuatridimensional energía-momento y el tensor momento angular asociados. Para ello hacen uso del formalismo hamiltoniano elaborado anteriormente por Bel y Martín.<sup>18</sup>

Fustero y Lapiedra trabajaron sobre la idea de algunos autores, como Jordan, que reflejaron la posibilidad de que en algunos casos, como los fenómenos de invariancia de la paridad de un sistema de dos partículas, el formalismo covariante de la relatividad y el de la MRP podrían no ser equivalentes. Los autores españoles descartaron dicha posibilidad al demostrar que ambos formalismos son equivalentes y, en concreto, conducen a los mismos resultados en los fenómenos de invariancia de la paridad.<sup>19</sup>

Otros tres físicos españoles, Carlos Bona, Xabier Fustero y Lluís Mas, publicaron conjuntamente en *Physical Review* un estudio sistemático de la interacción dyon-dyon (partículas hipotéticas que tendrían tanto carga eléctrica como magnética) en el marco de la MRP. Analizaron las propiedades de simetría del sistema, obteniendo una solución exacta. Se basan en resultados de Bel en la versión cuantizada de la MRP (Bel publicaría más tarde en colaboración con Jesús Martín, a partir de 1980, trabajos sobre MRP de sistemas de  $N$  partículas con spin)<sup>20</sup>.

Verdaguer, de la Universidad Autónoma de Barcelona, consideró la aproximación del movimiento lento en relatividad general con el propósito de describir la interacción gravitacional en el marco de la MRP. La condición de covariancia de las ecuaciones de campo de la relatividad general permite una elección determinada de un sistema de coordenadas de tal forma que se pueden lograr soluciones aproximadas haciendo uso de la MRP, lo que hace más sencillo el proceso de cálculo.<sup>21</sup>

---

<sup>18</sup> Fustero, L. Mas y R. Lapiedra, "Predictive relativistic mechanics of magnetic monopoles and electric charges", *Physical Review D*, v 16, nº 12, 1977, p 3474-3482.

<sup>19</sup> Fustero y R. Lapiedra, "Equivalence of two formalisms of predictive relativistic mechanics", *Physical Review D*, v 17, nº 10, 1978, p 2821-2823.

<sup>20</sup> C. Bona, X. Fustero y L. Mas, "Dyon-Dyon interaction in predictive relativistic mechanics", *Physical Review D*, v 18, nº 12, 1978, p 4470-4479.

<sup>21</sup> E. Verdaguer, "Predictive relativistic mechanics of gravitating masses", *Annales de l'Institut Henri Poincaré, section A*, v 28, nº 4, 1978, p 379-397.

Por último, Ramón Lapiedra, A. Molina y F. Marqués publicaron en *Journal of Mathematical Physics* dos trabajos sobre la electrodinámica de dos cargas con radiación, partiendo de los principios de MRP<sup>22</sup>.

Sobre MRP se realizaron varias tesis doctorales en España. Carlos Bona García, bajo la dirección de Manuel García Doncel, presentó en 1977 en la Universidad Autónoma de Barcelona, *Interacció de dos dions en mecànica relativista predictiva*. Jesús Martín, como director de tesis, siguió encaminando sus esfuerzos hacia la Mecánica Relativista Predictiva, al dirigir como miembro del Departamento de Física Teórica de la Universidad Autónoma de Madrid, en 1977 a José Luis Sanz Estévez la tesis, *Sistemas aislados y no-aislados en el marco de la mecánica relativista predictiva*.

En 1979, por la Universidad de Valencia, Miguel Portilla Moll defendió su tesis *Sistema predictivo, de primer orden en g, para dos partículas en interacción gravitatoria*, dirigida por Lorenzo Ferrer Figueras. En esta tesis se plantea el movimiento de dos partículas puntuales en el marco de la relatividad general, construyendo un sistema predictivo invariante de primer orden en g. Con este método se obtienen las coordenadas de Hamilton-Jacobi correspondientes, el cuadrivector energía-momento y el momento angular intrínseco, estudiando así el problema del scattering gravitatorio.

---

<sup>22</sup> R. Lapiedra y A. Molina, "Classical predictive electrodynamics of two charges with radiation: General framework. I", *J. Math. Phys.* v 20, 1979, p 1308; R. Lapiedra, F. Marqués, y A. Molina, "Classical predictive electrodynamics of two charges with radiation: Energy and 3-momentum balance and scattering cross sections. II", *J. Math. Phys.* v 20, 1979, p 1316.

## 5.2. TEORÍA CINÉTICA DE LA COSMOLOGÍA Y TERMODINÁMICA RELATIVISTA.

Sobre esta nueva disciplina también Lluís Bel fue pionero con su trabajo de 1969 “Kinetic theory of Cosmology”, ya comentado en el capítulo anterior, y donde planteó estudiar la evolución de las galaxias considerándolas como partículas en el marco de la teoría cinética. Además, Bel estableció una línea de investigación en este campo, dirigiendo también a un grupo de físicos españoles, entre los que destacó Enrique Álvarez, junto con Gracia Bondía. Uno de los aspectos más importantes de esta disciplina es que por primera vez, gracias a este grupo de trabajo, se investigó en España sobre modelos teóricos relativos a cuásares y púlsares.

En 1973 Enrique Álvarez (de la Universidad Autónoma de Madrid) y Lluís Bel presentan un trabajo en *The Astrophysical Journal*<sup>1</sup> que desde mi punto de vista es de trascendental relevancia en la literatura relativista española por varios motivos:

- Es un estudio teórico, basado en cálculos de la relatividad general, sobre los datos observacionales de un cuásar detectado en 1971, el 3C-279, cuásar que por sus especiales características provocaría un fuerte impacto en la comunidad científica. En concreto, Álvarez y Bel obtienen una fórmula de la velocidad angular generalizada para modelos uniformes que la aplican al caso del 3C-279.
- Aplican los procedimientos establecidos por Lluís Bel en 1969 sobre teoría cinética de la cosmología.
- Del estudio teórico (aplicación a las ecuaciones de campo einstenianas del elemento de línea en un modelo de fluido cosmológico uniforme) deducen la posibilidad, como hipótesis alternativa pero coherente con los resultados, de que el valor de la velocidad de la luz, en un modelo no expansivo (que en alguna fase de evolución del universo se podía no haber dado) pudiera haber cambiado con el tiempo, de tal forma que  $v(t) = c\xi$ , con  $v$  el valor de la velocidad de la luz,  $c$  el valor ahora constante y  $\xi(t)$  una función del tiempo que interviene en el elemento de línea obtenido para modelos cosmológicos uniformes. Obtienen una expresión de la variación de la velocidad de la luz en función de la constante de Hubble. Sabemos que por esos años comenzó una corriente de pensamiento plausible en la que se valoraba la posibilidad de variación con el tiempo de las constantes de la naturaleza. Por ejemplo, algunos modelos cosmológicos planteaban que la constante de gravitación pudo ser mayor en tiempos pasados.
- Realizan un análisis cinemático del 3C-279 (del que se puede concluir que tiene dos componentes) por el cual, aplicándolo al caso no relativista y por el análisis del corrimiento al rojo, se obtendrían velocidades de fuga superiores a la de la luz. En cambio, con la conjunción de la teoría cinética cosmológica y la relatividad general, los cálculos darían una velocidad de fuga menor que la de la luz. Recordemos que uno de los problemas que planteaban algunos autores para descartar la

---

<sup>1</sup> Enrique Álvarez y Lluís Bel, “Generalized angular-velocity formula and kinematical analysis of 3C 279”, *The Astrophysical Journal*, v 179, 1973, p 391-393.

interpretación del corrimiento al rojo como fuga era la obtención de velocidades mayores que la de la luz.

Enrique Álvarez, Gracia Bondía y Bel continuarían produciendo interesantes aportaciones al estudio de los cuásares. Pero antes de abordar estas aportaciones, conviene que repasemos la información de la que se disponía por esos años sobre estos objetos, información que en nuestro país precisamente vino de la mano de dos astrónomos españoles, Antonio Romaña<sup>2</sup> y José Pensado<sup>3</sup>.

Las primeras descripciones de estos nuevos objetos indicaban que eran de apariencia estelar, identificados como radiofuentes de luminosidad y flujo radioeléctrico variables, con anchas líneas de emisión desplazadas fuertemente hacia el rojo, presentando a veces también líneas de absorción con desplazamiento asimismo hacia el rojo. En definitiva esta característica significativa de los cuásares dio lugar a interpretaciones del corrimiento basadas bien en el efecto Doppler, que implicaría una gran velocidad de recesión, bien en el efecto gravitatorio explicado por la relatividad general. También hubo interpretaciones mixtas en las que se explicaba el corrimiento por ambos fenómenos.<sup>4</sup>

En principio era lógico tomar seriamente en consideración la propuesta basada en corrimiento gravitacional. La interpretación gravitatoria se basa en que un cuerpo de masa  $M$  y radio  $R$  produce unas rayas espectrales de la luz procedente de su superficie con un desplazamiento al rojo, debido al trabajo que deben realizar los fotones para escapar del campo gravitatorio del cuerpo. Dicho desplazamiento viene

dado por la expresión  $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{1-2GM/Rc^2}}$ .

Para que en este modelo predominara el efecto gravitatorio sobre el Doppler se concluyó que el cuásar tenía que corresponderse con una estrella de masa similar a la del sol pero enteramente colapsada y relativamente cercana. Esta hipótesis no concordaba con las observaciones. Por lo tanto, el cuásar debía estar a distancias cosmológicas, donde predominaría el efecto Doppler. Los cálculos teóricos tenían concordancia con las observaciones para este modelo, aunque no de una forma concluyente. Se planteaban a su vez hipótesis sobre otras causas adicionales del corrimiento de las rayas asociadas a un campo tan intenso. Por ejemplo Hoyle y Fowler plantearon que las rayas espectrales provenían de masas de gas situadas en el fondo de un “pozo de potencial gravitatorio”.

En el caso de la interpretación debida al efecto Doppler, también hay que considerar dos supuestos: cuásares relativamente próximos y cuásares a distancias cosmológicas. En el primer caso el corrimiento al rojo sólo se explicaría por

<sup>2</sup> Romaña, “Quasares y pulsares”, *Urania*, 1972, p 78-122.

<sup>3</sup> José Pensado, “Pulsares y Cuásares”, *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid*, 1971, p 313-380.

<sup>4</sup> Actualmente hay acuerdo en que se debe a los dos efectos, gravitatorio (algunos cuásares se identifican con agujeros negros) y por alejamiento. En este sentido hay que notar que en 1979 el cuásar QQ172 era el clasificado como el de mayor corrimiento al rojo, calculándose una velocidad de alejamiento que sería de 0,91c si se considera sólo el efecto Doppler (Margaret Burbidge en Lerner y Trigg, *Encyclopedia of Physics*, Addison-Wesley, 1981, versión española, *Enciclopedia de la Física*, Alianza Editorial, 1987, p. 1259)

velocidades de alejamiento relativistas, donde el factor de corrimiento viene dado por el efecto Doppler relativista:

$$\frac{1 + \frac{v}{c \cos \theta}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (\text{donde } \theta \text{ es el ángulo entre la dirección real y la visual}).$$

Esta hipótesis se descartó, en síntesis, porque sólo se podría explicar con una explosión gigantesca en nuestra galaxia y dado el gran número de cuásares descubiertos resulta prácticamente imposible que se haya producido tal liberación de energía, además de que no hay indicios observacionales al respecto.<sup>5</sup>

Respecto a la hipótesis de efecto Doppler de los cuásares a distancias cosmológicas, los datos observacionales parecían confirmar esta hipótesis. De este modo la emisión radioeléctrica del cuásar debe ser de tipo sincrotrónico, que sólo se explica con la energía asociada a partículas relativistas en un campo magnético intenso. Para este supuesto ha habido, a su vez, varias explicaciones diversas aunque ninguna del todo satisfactoria, unas basadas en existencia de estrellas en los cuásares, otras de objetos supermasivos pero no estelares y teorías basadas en el efecto "lente gravitatoria".

Para el caso de cuerpos supermasivos no estelares, aunque habría dificultades porque la relatividad general impone unas condiciones de inestabilidad radial no observada en el espectro, reconoce Romañá el interés del estudio detallado de la dinámica de estos fenómenos con una completa discusión relativista, lo que implica entrar de lleno en un nuevo dominio de la Astrofísica, denominado Astrofísica Relativista, "que está actualmente en pleno auge, gracias sobre todo a los trabajos de Thorne".

Es interesante también la propuesta de Dehnen y Hönl en la que los cuásares serían galaxias normales regidas por la teoría de la relatividad de Brans-Dicke, en la que, como indica Romañá:

... al campo gravitatorio tensorial de Einstein se agrega un campo escalar y se introduce una nueva constante  $\omega$  que, cuando se hace infinita, lleva de nuevo a la Relatividad General einsteniana. En dicha teoría la llamada constante de la gravitación  $G$  no es constante, sino que decrece con el tiempo. Entonces teniendo en cuenta que la luminosidad de una estrella de masa  $M$  está relacionada con  $G$  por la ley aproximada  $L \approx M^5 G^7$ , los cuásares serían simplemente galaxias normales vistas en una época en que su luminosidad  $L$  era más elevada. Comparando el diagrama teórico de la magnitud bolométrica aparente de una galaxia normal en función de su corrimiento al rojo cosmológico con el diagrama para los cuásares observados, se encuentra para la nueva constante  $\omega$  el valor cero. Pero la gran dificultad de esta teoría está en que implicaría una relación de los

---

<sup>5</sup> Romañá, "Quásares y púlsares", *Urania*, 1972, p. 88 y 89.

cuásares observados a las galaxias normales  $10^8$  veces mayor que la que se observa; no parece, pues, que sea posible tomarla en cuenta.<sup>6</sup>

En cuanto a las teorías basadas en el efecto "lente gravitatoria", hubo propuestas en las que los cuásares podrían ser núcleos de galaxias cuya luminosidad estaría reforzada por galaxias compactas intercaladas en la visual. Este efecto estaría causado por el efecto previsto en la relatividad general, donde si se tiene una fuente luminosa alineada exactamente con un objeto de gran masa  $M$  respecto al observador, los fotones se desviarían un ángulo  $\varepsilon=4GM/Rc^2$ , siendo  $R$  la distancia mínima a que pasan dichos fotones de  $M$ . De este modo los fotones, que en principio llegarían al observador en un haz divergente, lo harían de forma convergente y el brillo de la fuente se reforzaría. Pero, según Romañá, esta hipótesis tiene dificultades, además de por la alta improbabilidad de un alineamiento tan exacto (que sería factible en algún cuásar pero no en todos), porque ésta no da explicación al peculiar espectro de los cuásares, ya que el efecto de lente gravitatoria no debería afectar a dicho espectro.

En sus trabajos de síntesis, tanto Romañá como Pensado destacan que el descubrimiento de los cuásares causó tal impacto entre radioastrónomos y astrofísicos que una de las más positivas consecuencias es haber dado impulso al desarrollo de una nueva rama científica de importancia indudable, como es la Astrofísica Relativista.

Como hemos visto, siguiendo a Romañá y Pensado, hubo entre la comunidad científica diversas hipótesis para explicar el fuerte corrimiento al rojo de los cuásares. Pues bien, entre nuestros científicos también hubo interesantes aportaciones al respecto. Enrique Álvarez y Gracia Bondía consideraban que la distribución detectada de las rayas espectrales de los cuásares es consistente con la teoría de que parte del fuerte desplazamiento al rojo es debido a perturbaciones físicas no relacionadas con los cuásares<sup>7</sup>. De esta forma existe una alta probabilidad de que la luz emitida por los cuásares se vea influenciada por objetos interestelares de acuerdo con la Teoría Cinética de la Cosmología. Esto permite formular una función de correlación entre la absorción y la emisión del espectro de los cuásares, con lo que se puede estimar la masa de los objetos que interactúan con la radiación proveniente de los cuásares. Contrastan la teoría formulada con datos observacionales, según la catalogación de cuásares establecida en 1972 por Burbidge y O'Dell.

La importancia de esta propuesta teórica, acorde con las observaciones, es que se puede compatibilizar con la termodinámica relativista, basada en una generalización del equilibrio Liouville. Esto permite explicar el corrimiento al rojo de algunos cuásares, sin que implique que su velocidad de fuga superara la velocidad de la luz, lo que era uno de los problemas de la interpretación del corrimiento al rojo como debida exclusivamente al efecto Doppler.

Tanto Enrique Álvarez como Gracia Bondía presentaron sus respectivas Tesis Doctorales en el Departamento de Física Teórica de la UAM, bajo dirección de Lluís

---

<sup>6</sup> Romañá, *Ibidem*, p. 100.

<sup>7</sup> Enrique Álvarez, J.M Gracia Bondía, "Absorption Lines of Quasistellar Objects: A Kinematical Description", *Astronomy and Astrophysics*, v 36, nº 2, 1974, p. 299-303.

Bel (una vez más vemos que su influencia fue determinante). La de Álvarez, defendida en 1975, versó sobre *El equilibrio Liouville en Relatividad General*, y la de Gracia Bondía, en 1974, *Los objetos cuasiestelares y la teoría cinética de la cosmología*.

En su tesis Enrique Álvarez destacó la importancia de construir una teoría relativista consistente con la termodinámica y la física estadística, construcción que se puede dividir en tres grandes intentos de síntesis:

1. Construcción de una Mecánica Estadística Relativista.
2. Construcción de una Termodinámica Relativista.
3. Construcción de una Teoría Cinética Relativista.

Sobre el primer problema, la construcción de una Mecánica Estadística Relativista, ha habido varios intentos, que se agrupan en tres tipos: el primero, desde 1939 por Van Dantzing hasta 1970 por Muller, que consisten en una generalización covariante del espacio de la física clásica (espacio  $6N$ ), intentando la construcción de un espacio relativista de  $8N$  dimensiones en el que las partículas estuviesen descritas por un conjunto de trayectorias del espacio-tiempo. Otra línea de trabajo es la de formular la mecánica estadística relativista en términos de las coordenadas de sólo un número finito de partículas. El tercer tipo, cuyo principal protagonista es Prigogine, se basa en la consideración de los sistemas relativistas como un conjunto de partículas interaccionando en un campo. Pero a estos tres intentos hay que añadir uno más novedoso, el debido a Lluís Bel en 1974, que desarrolló una teoría basada en Sistemas Predictivos Invariantes por el Grupo de Poincaré en el marco de la teoría de perturbaciones de primer orden.

Sobre la construcción de una Termodinámica Relativista, el principal problema, según Álvarez, es que en la teoría clásica las propiedades térmicas de los cuerpos no están asociadas a su estado de movimiento. Por lo tanto, en principio no se puede realizar una generalización covariante de dichas propiedades. De hecho, varios autores, como Arzelies en 1965 o Moller en 1967 han protagonizado polémicas al respecto, sin haberse llegado a una solución consensuada.

En cuanto a la Teoría Cinética Relativista, otro problema es encontrar una extensión covariante del espacio clásico (de 6 dimensiones) correspondiente al espacio fásico de una partícula. Para solventar esta dificultad es preciso considerar un espacio relativista que contenga los espacios de todos los posibles cuádrimomentos en cada punto, pertenecientes a la variedad espacio-tiempo. Esto ha sido abordado por varios autores, desde 1957 hasta 1971, habiéndose logrado una teoría cinética relativista coherente, lo que ha valido para aplicarla a problemas de estructura estelar, de pulsares (estrellas de neutrones) y otros de astrofísica relativista.

También se vino desarrollando, a principio de los años setenta, la teoría cinética relativista de los procesos irreversibles, lográndose generalizar al caso relativista el modelo clásico de Boltzman y el de los momentos de Grad.

El objeto de la tesis de Álvarez es fundamentar la justificación física del equilibrio Liouville generalizado<sup>8</sup> (introducido por Bel en 1969 con su trabajo “Kinetic Theory of Cosmology” en *The Astrophysical Journal*) y aplicar dicha generalización relativista a la teoría lineal de transporte que influye en los cálculos sobre viscosidad y propagación del calor.

Para ello, Álvarez introduce el concepto de entropía vectorial función del punto, que se puede considerar equivalente a la entropía escalar (idea también propuesta por Bel en 1969).

Álvarez estudia el proceso de equilibrio en ausencia de colisiones, introduciendo una función de equilibrio generalizada y su posible aplicación a las diferentes variedades espacio-tiempo, lo que puede tener aplicaciones cosmológicas y “que justifican incluso la adopción de un nombre para el marco teórico que implican: Teorema Cinético de la Cosmología”.

También aplica la teoría de los momentos de Grad para resolver el problema del equilibrio de Liouville, que en realidad se corresponde con la resolución de la ecuación de Boltzman.

Para todo lo anterior, propone el físico español una aproximación en el cálculo denominada “aproximación de solución normal” y poder obtener así los coeficientes de viscosidad relativista, concluyendo que para un gas situado en las proximidades del equilibrio Liouville generalizado, la viscosidad global es nula. Esto implica una cierta compatibilidad de la expansión con la condición de equilibrio.

También se aplica el método de “aproximación de solución normal” para la obtención de la ecuación de propagación del calor. Se obtiene una ecuación análoga a la del equilibrio de Boltzman pero con variaciones en la expresión de la inercia de la energía.

Como principales conclusiones obtenidas, Álvarez ha demostrado que la función de Bel es compatible con espacios-tiempos no estáticos (universo en expansión) y el hecho de dejar abierta la posibilidad de que el tensor energía-momento, para algunas condiciones físicas, sea conservativo por cuestiones termodinámicas relativistas.

La Tesis Doctoral de Gracia Bondía, *Los objetos cuasiestelares y la teoría cinética de la cosmología*, tiene por objeto estudiar la compatibilidad de las observaciones de los objetos cuasiestelares con la hipótesis de que se mueven con velocidades muy altas con respecto al conjunto de la materia del Universo. De esta forma, se solventarían así algunas paradojas que se pueden dar de la interpretación habitual por la cual la velocidad de recesión de los cuásares, indicada por el corrimiento al rojo, está relacionada unívocamente con la distancia. Como anécdota curiosa, Gracia Bondía indica que en 1972 tuvo conocimiento por primera vez, junto con Enrique Álvarez, gracias a la estancia de ambos en la Escuela de Verano de Cosmología “Ettore Majorana”, de un hecho fundamental para su tesis: los efectos cinéticos

---

<sup>8</sup> La ecuación de Liouville se usa en mecánica estadística clásica para representar cada uno de los microestados de un sistema correspondientes a un macroestado. El formulismo utilizado es el de la mecánica analítica en coordenadas generalizadas, lo que permite dar la ley de variación en función del tiempo de la probabilidad de presencia de una partícula, una vez obtenido el hamiltoniano del sistema.



podrían explicar parte de la dispersión observada en la representación en un diagrama del brillo aparente frente al desplazamiento al rojo.

La teoría cinética de la cosmología, pues, puede tener aplicaciones sobre la dinámica de cúmulos galácticos, en la que son fundamentales los test de posible presencia de materia intergaláctica.

Deduce Gracia Bondía las fórmulas teóricas para las distribuciones de magnitudes observables (magnitud aparente, desplazamiento al rojo, tamaño angular aparente). Con los cálculos se reexaminan los diferentes modelos cosmológicos desde el punto de vista cinético. También trata la teoría de observaciones basada en radiaciones electromagnéticas (la radioastronomía) desde el punto de vista de los modelos cinéticos.

Realiza un estudio detallado de la hipótesis de que los cuásares tienen velocidades muy grandes, para lo que analiza en profundidad las características de los conjuntos de cuásares descubiertos hasta entonces (obtenidos de la compilación de 236 referencias), concluyendo que la teoría cinética de la cosmología es compatible con las observaciones.

Enrique Álvarez, Lluís Bel y Gracia Bondía continuaron trabajando sobre la teoría cinética para aplicarla a los cuásares y comparando los resultados teóricos con diferentes catálogos de dichos objetos. Publicaron así en 1975 un interesante trabajo en *Astronomy and Astrophysics*, en el que hacen uso de la teoría cinética de la relatividad general para describir un fluido cosmológico compuesto de dos tipos de gases, el de las galaxias y el de los cuásares.<sup>9</sup> Consideran una función de distribución de equilibrio para el caso de los cuásares. Demuestran que esta descripción de los cuásares, como un gas con una función de distribución, es compatible con los resultados observacionales y con la Teoría Cinética de la Cosmología, presentada por diversos autores, como Ehlers y Hakim en 1968 y por el propio Lluís Bel en 1969, aunque aquí los autores españoles presentan algunas modificaciones para el estudio de los cuásares, entre ellas buscar la compatibilidad de las ecuaciones de campo de Einstein con las del equilibrio termodinámico de Liouville. Los resultados experimentales asociados a observaciones están basados en la catalogación de cuásares de Burbidge y O'Dell de 1972, Lynds y Wills de 1972 y Schmidt de 1968, catálogos estudiados por Sandage en 1972 (recordemos que Allan Sandage está considerado como uno de los astrónomos más significativos del siglo XX).

Al año siguiente, ahora en solitario, Enrique Álvarez publicó en *Journal of Physics* un trabajo sobre la generalización relativista del equilibrio de Liouville.<sup>10</sup> Discute la posibilidad de introducir una entropía escalar  $S(x)$  en el entorno de la teoría cinética relativista. El objeto es obtener una función de distribución generalizada del equilibrio, que en mecánica estadística clásica es la conocida condición de equilibrio de Liouville. Parte Álvarez de considerar que la función de distribución, en el supuesto relativista de un conjunto de partículas sin colisión, debe satisfacer la ecuación de Liouville para una

---

<sup>9</sup> E. Álvarez, L. Bel, Gracia Bondía, "Kinematical Description of Quasi-stellar Objects", *Astronomy and Astrophysics*, v 40, nº 4, 1975, p 381-386.

<sup>10</sup> E. Álvarez, "On the generalized relativistic Liouville equilibrium", *Journal of Physics A*, v 9, nº5, 1976, p 687-696.

partícula. Aplica el resultado a un caso particular en el espacio-tiempo uniforme considerando el límite no relativista. En el desarrollo de su trabajo, Álvarez afirma que se ha basado en una función de distribución propuesta (en comunicación privada) por Bel en 1971. Se basa también Álvarez en los resultados de Jüttner y Synge sobre la incompatibilidad de la función de equilibrio de Boltzman con un espacio-tiempo no estacionario, por lo que dicha función de equilibrio sólo se puede usar en cosmología para describir un equilibrio local. Álvarez demuestra que la función de distribución de Maxwell-Boltzman de la física estadística clásica es un caso límite de primer orden de la función de equilibrio relativista (obtenida por Jüttner y Synge). El caso límite de segundo orden sería la ecuación de Liouville para el sistema dinámico correspondiente a la cosmología newtoniana. Para obtener la función de distribución en equilibrio en un espacio-tiempo uniforme se parte de la métrica de Robertson-Walker, lo que indica el autor ya obtuvieron él mismo y Bel en 1973, aplicado los resultados al caso límite no relativista. Concluye que dichos resultados son compatibles con la teoría cinética cosmológica establecida por él mismo, Bel y Gracia Bondía el año anterior.

Álvarez presentó otro trabajo sobre ecuaciones de transporte para un gas relativista.<sup>11</sup> El objeto es hacer uso de una generalización relativista del método de los momentos de Grad (un nuevo método para construir soluciones aproximadas de la ecuación de Boltzman, establecido por Grad) para obtener un nuevo conjunto de ecuaciones de transporte para un gas en equilibrio. Se basa en las conclusiones de Bel y Martín sobre sistemas conservativos en el marco de la Mecánica Relativista Predictiva.

Por último, J. Abellán, A. Navarro y Enrique Álvarez publicaron un estudio sobre termodinámica y cosmología en el que analizan el problema de la expansión de un gas relativista, basándose en la propuesta de Schüking y Spegel de 1971 sobre una clase de equilibrio, compatible con la expansión adiabática. Demuestran que esta condición de equilibrio tiene asociada una solución de la ecuación de Boltzman relativista en la métrica de Robertson-Walker.<sup>12</sup>

Fuera del ámbito del grupo dirigido por Lluís Bel, Joaquín Olivert Pellicer (actualmente profesor titular de Astronomía y Astrofísica de la Universidad de Valencia) también realizó interesantes contribuciones sobre termodinámica relativista, esta vez además en una revista científica española, la del seminario matemático de la Universidad de Barcelona, *Collectanea Mathematica*. En 1976 realizó un estudio relativista de teoría de fluidos en procesos reversibles en el que primero realiza un repaso por la variedad de tendencias e hipótesis en la termodinámica relativista de la época.<sup>13</sup>

Este trabajo es un resumen de su tesis doctoral, presentada en 1973 por la Universidad de Valencia. Su intención es mostrar la compatibilidad de las dos principales teorías existentes: la iniciada por Einstein y Plack, actualizada por Moller

<sup>11</sup> E. Álvarez, "On the transport equations for a one-component relativistic gas", *Journal of Physics A*, v 9, nº 11, 1976, p. 1861-1875.

<sup>12</sup> J. Abellán, A. Navarro y E. Álvarez, "Thermodynamics and Cosmology", *Journal of Physics A*, "Letter to the editor", v 10, nº7, 1977, p L129-L130.

<sup>13</sup> Olivert Pellicer, Joaquín, "Estudio relativista de un fluido perfecto termodinámico de masa material variable en procesos reversibles", *Collectanea Mathematica*, nº 27, 1976, p 167-218.

en 1952, que se basa en el estudio de la transformación de la temperatura al pasar de un sistema inercial a otro; y la de Taub-Lichnerowicz, iniciada por Taub en 1949 y desarrollada en 1967 por Lichnerowicz (recordemos que fue el mentor de Lluís Bel y Lluís Mas en Francia), por la cual no cabe plantearse la transformación de la temperatura, ya que emplean variables termodinámicas específicas definidas en unos sistemas propios. Según Olivert, las dos teorías se complementan. Para demostrarlo analiza las propiedades termodinámicas de un fluido perfecto en procesos reversibles, tanto en el marco de la relatividad especial como general. Parte de las ecuaciones de transformación entre sistemas inerciales para el calor y la temperatura

$$dQ = dQ^0 \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad ; \quad dT = dT^0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

donde se demuestra que la entropía es un invariante y se obtiene la ecuación fundamental de la termodinámica relativista para procesos reversibles, ecuación que, al ser un invariante relativista, se puede extender a la relatividad general. Para el caso de aplicación de dicha ecuación a un fluido cargado, aplica la notación tensorial para su tratamiento en relatividad general. De esta forma se puede también estudiar dichos fluidos con inducción, tanto eléctrica como magnética, obteniendo una serie de propiedades de la magnetohidrodinámica ideal (es decir el estudio de las propiedades de un fluido perfecto relativista con conductividad eléctrica infinita, teoría desarrollada por Lichnerowicz en 1967 y Arcidiacono en 1970, presentada por éste último también en *Collectanea Mathematica*<sup>14</sup>). Los resultados obtenidos le permiten realizar un estudio sobre el equilibrio de una esfera inmersa en su propio campo gravitacional, según la métrica de Schwarzschild para el interior de una esfera homogénea. El propósito de Olivert es plantear este problema, conocido como “esfera de Schwarzschild”, de una forma nueva considerándolo como un sistema termodinámico y replanteando el equilibrio gravitacional en el marco de la termodinámica relativista.

En un siguiente trabajo Olivert se aproxima a los modelos cosmológicos desde la termodinámica relativista.<sup>15</sup> Parte del modelo cosmológico de Friedmann (ya que considera que en esos años es el admitido como más probable) en el que el esquema material es el de los fluidos perfectos, por lo que el tensor energía-impulso toma la forma  $T = (\rho + p/c^2) \mathbf{U} \otimes \mathbf{U} + p \mathbf{g}$  (siendo  $\rho$  la densidad de masa-energía,  $\mathbf{U}$  el campo cuadvectores velocidad del fluido perfecto asociado al universo,  $p$  su presión y  $\mathbf{g}$  el campo tensorial métrico,  $\otimes$  indica el producto tensorial).

La densidad masa-energía se debe tomar como suma de la densidad material  $\rho_m$  y la densidad debida a la radiación  $\rho_r$ . Ambas densidades deben evolucionar de acuerdo al factor de expansión del universo  $a(t)$ , que es una función del tiempo. Las respectivas expresiones son

$$\rho_m = \rho_{m0} [a_0^3/a^3(t)]$$

$$\rho_r = \rho_{r0} [a_0^4/a^4(t)] ,$$

<sup>14</sup> Arcidiacono, “L’Universo di De Sitter-Castelnuovo e la magnetoidrodinamica”, *Collectanea Mathematica*, nº 21, 1970, p. 149.

<sup>15</sup> Joaquín Olivert Pellicer, “Conservación de masa material en el proceso de expansión del universo”, *Collectanea Mathematica*, 1978, p 7-10.

donde el subíndice  $_0$  indica los respectivos valores en el momento actual.

De estas expresiones se deduce que para un tiempo inicial próximo a cero la densidad de radiación es mayor que la material y, a medida que aumenta el tiempo en un momento determinado, la densidad material pasará a ser mayor que la densidad de radiación. Por lo tanto, el modelo de Friedman actual se considera como un universo de materia en el que se puede despreciar la presión y la densidad de radiación. En cambio, en el momento inicial de la gran explosión domina un universo de radiación, donde se admite como presión la producida por la radiación. En el modelo expansivo admitido se estableció como hipótesis adicional la conservación de materia. Olivert considera que no es necesaria esta hipótesis porque se puede demostrar, por consideraciones termodinámicas, dicha conservación de materia partiendo de las ecuaciones de Einstein en modelos de curvatura positiva, como el de Friedmann.

Parte Olivert de las ecuaciones de campo que rigen la evolución del universo en función del factor de expansión y de la métrica de Robertson-Walker. Con sucesivos desarrollos llega a la ecuación diferencial

$$\frac{d(c^2 \rho V^0)}{dt} + \frac{p dV^0}{dt} = 0, \text{ donde } V^0 \text{ es el volumen del universo.}$$

Como  $\rho = \rho_m + \rho_r$ ;  $\rho_m V^0 = m^0$ ;  $c^2 \rho_r V^0 = E^0$  tenemos que  $c^2 \rho V^0 = c^2 m^0 + E^0$ .

La expresión obtenida sugiere que el universo puede ser considerado como un fluido termodinámico si interpretamos  $m^0$  como la masa material del mismo y  $E^0$  su energía interna (según resultados obtenidos de su tesis doctoral).

Por lo tanto la ecuación diferencial es de la forma  $d(c^2 m^0 + E^0) + p dV^0 = 0$ , que si la comparamos con la expresión de la entalpía relativista  $I = E^0 + pV^0$  (obtenida también de su tesis) se obtiene una ecuación coincidente con la de los procesos termodinámicos reversibles en función de la temperatura y la entropía, concluyendo que  $dS = 0$  (siendo  $S$  la entropía).

Es decir, el fenómeno de expansión es reversible y se realiza a entropía constante. Anteriormente ya había demostrado Olivert que la masa material se conserva en los procesos isoentrópicos (proceso a entropía constante que también es adiabático, es decir sin intercambio de calor, y reversible).

### 5.3. OTROS ASPECTOS GENÉRICOS DE LA RELATIVIDAD

Bel ya había trabajado anteriormente sobre la solución de Schwarzschild, y en 1971, en un trabajo sobre soluciones estáticas<sup>1</sup> aparecido en la recién inaugurada *General Relativity and Gravitation*, considera que la métrica conforme es la más adecuada para representar la métrica del espacio.<sup>2</sup> Aplica los resultados de la métrica conforme en las variedades diferencial usadas en relatividad general para obtener las soluciones de las ecuaciones propuestas por Schwarzschild y otros como Curzon.

Hemos visto que Jesús Martín era uno de los principales colaboradores de Lluís Bel, destacando especialmente en trabajos sobre Mecánica Relativista Predictiva. Martín realizó su Tesis Doctoral en 1973, también dirigida por Bel en la UAM, sobre un tema genérico de relatividad, *Simetría axial en relatividad general. Métrica de Kerr*.

El objeto de la tesis de Jesús Martín es el estudio y resolución de las ecuaciones de campo de Einstein en algunos casos sencillos en que se pueden simplificar la gran complejidad de cálculo, como es el del campo gravitatorio estacionario con simetría axial. Las ecuaciones de campo forman un sistema de ecuaciones en derivadas parciales, cuyas incógnitas son los coeficientes de la métrica asociada a la variedad riemanniana de cuatro dimensiones con signatura hiperbólica-normal. Este tipo de aproximaciones ya fue planteado, aunque sin éxito, por Weyl en 1917, Lewis en 1932, Van Stockum en 1937 y Papapetrou en 1953, quien consiguió por primera vez obtener una solución exacta pero sin significado físico (ya que el campo gravitatorio descrito era el de una fuente sin masa). En 1963 Kerr presentó una nueva métrica que podía representar el campo gravitatorio de un cuerpo en rotación y que se podía reducir a la métrica de Schwarzschild, aunque tampoco estaba exenta de problemas al contener dos parámetros arbitrarios.

Martín estudia de forma general los espacios-tiempos estacionarios con simetría axial, definiendo la noción de isometría sobre la variedad espacio-tiempo. Resume las aportaciones al respecto de Lichnerowicz, Bel y J.C. Escard. Demuestra algunos resultados importantes asociados a esta simetría, entre ellos un teorema de Papapetrou que supone una importante simplificación de las ecuaciones de Einstein en los casos más usuales.

Posteriormente, Martín aborda el campo gravitatorio estacionario con simetría axial basado en la métrica de Kerr. Todos los autores que han trabajado esta métrica han buscado una interpretación física coherente con los parámetros antes indicados, y también anuncia Martín su intención en este sentido, aunque reconoce que todavía es una incógnita la solución definitiva de este problema. La propuesta de Martín se basa en la posibilidad de encontrar una solución interior de las ecuaciones de Einstein compatible con la métrica de Kerr, ya que las anteriores eran soluciones exteriores. Su planteamiento conduce a efectuar una hipótesis sobre la fuente del campo gravitatorio:

---

<sup>1</sup> L. Bel, "Les Sources des Solutions Statiques de Schwarzschild et de Curzon", *General Relativity and Gravitation*, v 1, nº 4, 1971, p 337-347.

atribuirle la estructura de un fluido perfecto que gira rígidamente. Por último, obtiene una métrica interior aproximada a partir del conocimiento previo de otra exterior y de las condiciones de acoplo entre ambas métricas. Demuestra que se puede realizar una aplicación parcial a la métrica de Schwarzschild.

En 1975 Sánchez-Ron y José Luis Sanz resaltaron las dificultades de la aplicación de la teoría de campos en la electrodinámica, a consecuencia de las cuales se han reexaminado conceptos como el de campo o causalidad<sup>3</sup>. Por ejemplo Fokker en 1929 formuló una electrodinámica como una teoría de acción a distancia que describe los sistemas relativistas de interacción de cargas mediante un principio de acción. Esta propuesta fue completada por Wheeler y Feynmann en 1945 y 1949. Fokker logró unas ecuaciones de movimiento cuyas soluciones no son triviales, sólo Smith en 1960 y Schild en 1963 encontraron soluciones exactas para un caso particular, el del denominado espacio plano en el sentido de un subconjunto de un espacio dimensional congruente con un espacio euclidiano de dimensión menor que el original. En 1974, Chern y Havas demostraron que, bajo ciertas condiciones, puede existir un infinito número de soluciones exactas. Sánchez-Ron y Sanz se propusieron estudiar las propiedades de estas soluciones para dotarlas de sentido físico. Para ello calculan el cuadrimomento y el momento angular (también en cuatro dimensiones) para algunas soluciones exactas en la interacción de dos cuerpos, concluyendo que en la electrodinámica de Fokker se pueden encontrar diferentes trayectorias circulares con las mismas condiciones iniciales de posición y velocidad.

En 1976 Sánchez Ron planteó la posible equivalencia entre las teorías de interacción a distancia entre partículas y las teorías no lineales de campo clásicas (entendiendo por clásicas que no son cuánticas, aunque sí relativistas). Un ejemplo de teoría de campos no lineal es la relatividad general de Einstein. Concluye que para el caso de la interacción de tres cuerpos, en la que dos tienen carga pero no masa y una tercera tiene masa pero no carga, se puede establecer esta equivalencia.<sup>4</sup>

Luis Antonio Santaló, uno de los destacados científicos españoles exiliados, recibió ofertas de varias universidades españolas para regresar a su país de origen durante los últimos años de la dictadura. Aunque no las aceptó, esto supuso una cierta normalización de sus relaciones con las instituciones científicas españolas, siendo una muestra la reanudación de trabajos en la *Revista de la R. Academia de Ciencias de Madrid* en 1972, con un artículo sobre teorías unitarias.<sup>5</sup>

En su reanudación de “relaciones” con la Academia madrileña, el matemático español describe las implicaciones matemáticas de la relatividad general de Einstein observadas por Elie Cartan en 1922, en concreto sobre la naturaleza del tensor métrico. Igualmente, de los diferentes intentos infructuosos de interpretar

<sup>2</sup> El término “conforme” hace referencia a que en las transformaciones definidas se conservan los ángulos y las formas de las figuras cuando son infinitesimalmente pequeñas. La geometría conforme es una parte de la geometría diferencial.

<sup>3</sup> JM Sánchez-Ron y JL. Sanz, “Momentum and angular momentum for some exact solutions of Fokker’s electrodynamics”, *Journal of Physics A*, v 8, nº 12, 1975, p 1975-1981.

<sup>4</sup> JM Sánchez-Ron, “On the equivalence between action-at-a-distance and non-linear field theories: three-body forces”, *Journal of Physics A*, v 9, nº 12, 1976, p L175-L177.

<sup>5</sup> Luis A. Santaló, Sobre algunas teorías asimétricas del campo unificado, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, vol 66, 1972, p 395-425.

geométricamente y de forma unificada los campos gravitatorio y electromagnético (fallidos principalmente por la simetría de los tensores implícitos en las ecuaciones de campo gravitatorio y la naturaleza antisimétrica de los tensores asociados al electromagnetismo), ha habido resultados muy útiles para las matemáticas, contribuyendo a enriquecer la geometría de las variedades diferenciables. En concreto, los intentos de Einstein y Schrödinger basados en que el espacio-tiempo fuera una variedad diferenciable con una conexión afín antisimétrica, enriquecieron las posibilidades de la teoría de espacios afines.

En realidad este escrito de Santaló es un compendio de las diferentes soluciones de las ecuaciones de campo unitarias. Él mismo advierte que presenta resultados ya obtenidos por otros autores y que la novedad está en la exposición sistematizada de conjunto. Demuestra que las diferentes soluciones antes mencionadas están incluidas también en su propia propuesta de ecuaciones más generales que había realizado años antes.

Sobre este problema Santaló publicó un interesante trabajo en el que profundiza en sus anteriores trabajos (ya tratados en el apartado 4.12 dedicado a los científicos en el exilio) sobre el intento de unificación de Einstein de 1950.<sup>6</sup> La idea de este escrito es considerar la posibilidad de ordenar todos los posibles lagrangianos de las diferentes teorías de unificación y, aplicando unas condiciones de simplicidad, hallar las ecuaciones de campo en una forma general que comprenda a todos ellos. De esta forma las ecuaciones de campo deben elegirse entre las ecuaciones generales obtenidas explícitamente y que dependen de ciertas constantes. Con los diferentes valores que se puedan dar a dichas constantes se tienen las diferentes posibilidades. La ventaja del método de Santaló es que encontró una forma conjunta de presentar las ecuaciones de campo de varias teorías. Por ejemplo, si el tensor fundamental es simétrico se pueden obtener las ecuaciones de varias de las teorías simétricas conocidas. En concreto, en este escrito Santaló complementa su teoría general estableciendo un principio variacional basado en leyes conservativas que pueden satisfacerse por un conjunto diverso de ecuaciones de campo.

En 1975 Santaló presentó, también en la Academia de Ciencias de Madrid, un escrito sobre el modelo cosmológico de Gödel,<sup>7</sup> quien en 1949 introdujo un nuevo modelo relativista en el que se incluía la posibilidad de rotación de la materia, lo que explicaría la forma en espiral de muchas nebulosas. La propiedad de rotación modificaba el elemento de línea asociado a la métrica, de tal forma que satisfacía las ecuaciones de campo gravitatorio einstenianas, con término cosmológico y densidad de materia constante. En 1960 Synge extendió la aplicación de Gödel a espacios riemannianos más generales y en 1961 Chandrasekhar y Wright integraron las ecuaciones de las geodésicas del modelo de Gödel, obteniendo una forma explícita de sus ecuaciones paramétricas en función del elemento de línea.

---

<sup>6</sup> Santaló, "Unified fields theories of Einstein's type deduced from a variational principles Conservation laws", *Tensor*, vol 25, 1972, p 383-389.

<sup>7</sup> Santaló, "Sobre las geodésicas del universo de Gödel-Synge" en *Homenaje al profesor Lora Tamaño*, *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, Madrid, 1975, p 51-69.

El objeto de Santaló en este trabajo es aplicar el mismo procedimiento de Chandrasekhar y Wright al modelo de Gödel-Synge, estableciendo, con los resultados obtenidos, una serie de propiedades de dicho modelo, como es la existencia de curvas de tiempo cerradas. Aplica los resultados al caso particular del modelo de Gödel, encontrando los mismos resultados que Chandrasekhar y Wright. En el cálculo de las geodésicas en coordenadas cilíndricas, obtiene Santaló que las geodésicas de espacio no son cerradas y que las únicas que presentan esta propiedad son las temporales, lo que implica, de acuerdo con una observación de Chandrasekhar, que no se puede influenciar en el pasado.

Un caso similar al de Maravall es el del ingeniero Federico Goded, que sin pertenecer al círculo de físicos relativistas se aproximó a la relatividad general con varios artículos en la *Revista de la R. Acad. Ciencias de Madrid* y en *General Relativity and Gravitation*.

En 1973, en su primera publicación sobre relatividad, Goded considera que los sistemas de ecuaciones de los campos gravitatorios y electromagnético son formalmente análogos, siempre y cuando se acepte la hipótesis de que la geometría producida por la presencia de uno sólo de dichos campos sea del tipo  $R_{\alpha\beta}=0$ . Partiendo de esta idea, se puede obtener el potencial de una partícula inestable dependiente de una constante  $a$  que mide la inestabilidad de la partícula. En definitiva, a cada tipo de partícula inestable le corresponde un valor de la constante  $a$  y dicho valor se puede obtener considerando el caso particular de los fotones al calcular la variación de la frecuencia de la luz emitida por objetos distantes. El valor obtenido es  $a=1/cT$  donde  $T$  es la constante de Hubble.

En las desintegraciones en las que se producen parejas de partículas  $\pi^+$  y  $\pi^-$  <sup>(8)</sup> se puede calcular la velocidad con que se alejan en direcciones opuestas del punto en

que ha tenido lugar la desintegración. Dicho cálculo da  $v_0 = c \sqrt{1 - \frac{m_\pi}{M_0}}$ , donde  $m_\pi$  es la

masa en reposo de  $\pi^+$  y  $\pi^-$  y  $M_0$  la masa en reposo de la partícula desintegrada. Igualmente se puede obtener la trayectoria de las partículas  $\pi^+$  y  $\pi^-$ , aplicando las ecuaciones relativistas del movimiento (donde Goded considera sólo la fuerza gravitatoria y la coulombiana entre las partículas), de las que se obtiene la constante  $a$ .

Sobre la unificación formal anteriormente mencionada, de un análisis detallado de la relación entre el tensor métrico y la materia, según lo establecido en relatividad general, se puede deducir, según Goded, que otros campos además del gravitatorio pueden interactuar con la geometría del espacio-tiempo.<sup>9</sup>

En principio esta propuesta no sería válida en el espacio plano de la relatividad especial, en concreto para los campos entre partículas elementales. El motivo es que

---

<sup>8</sup> Estas partículas se conocen como mesones  $\pi$  ó piones, que son cargados. También existe el mesón neutro  $\pi^0$ . Son partículas intermediarias de la interacción fuerte, previstas por la teoría de Yukawa y descubiertas experimentalmente en 1947 por la interacción de los protones cósmicos con nucleones. Los piones se desintegran rápidamente produciendo muones o electrones según los casos.

<sup>9</sup> Goded, Federico; "Elementary particle fields in a curved Riemann space; a unified theory", *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v 67, 1973, p. 411-439.



en este caso las derivadas ordinarias y covariantes son iguales. Por lo tanto, para poder incluir este tipo de interacción hay que formular las ecuaciones de campo de las partículas elementales en un espacio curvo cuadridimensional de Riemann. Para ello, el método seguido por Goded es el siguiente: reemplazar las derivadas ordinarias por covariantes en las ecuaciones del espacio plano de la relatividad especial y establecer un requisito de invariancia de forma. Con ello se consigue una formulación análoga de los campos electromagnéticos y de Dirac. Se llega a unas ecuaciones de campo de la forma  ${}^*T^{\mu\nu}{}_{||\nu} = 0$  (donde  $||_{\nu}$  indica la segunda derivada covariante respecto de  $\nu$ ) y  ${}^*T^{\mu\nu}$  indica el tensor dual de  $T^{\mu\nu}$ ).

De esta forma se logra una analogía formal en las formulaciones de los tres campos, el gravitatorio, el electromagnético y el de Dirac, analogía formal que, según Goded, permite el uso de la expresión “teoría unificada”, lo que no indica que haya una dependencia de los tres tipos de campo del mismo tensor métrico.

En otro artículo de 1973, aparecido también en la *Revista R. Acad. Ciencias de Madrid*, Goded obtiene el tensor métrico en el exterior de una esfera debido a una distribución de materia con simetría esférica en el interior de la misma<sup>10</sup>. El tensor  $T_{\mu\nu}$  que representa las fuerzas es, por analogía con el tensor electromagnético, de la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} 0 & \frac{-k}{r^2} & 0 & 0 \\ \frac{k}{r^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & B(r) \\ 0 & 0 & -B(r) & 0 \end{pmatrix}$$

donde  $k/r^2$  son fuerzas radiales y  $B(r)$  otras fuerzas gravitatorias dependiendo de la distancia radial pero que no actúan en la dirección de  $r$ . De esta forma el elemento  $T_{12}$  sería la componente newtoniana y el  $T_{34}$  sería la componente asociada a los efectos relativistas.

Partiendo de las ecuaciones  ${}^*T^{\mu\nu}{}_{||\nu} = 0$  y  $R_{\alpha\beta}=0$  se demuestra que el sistema de Einstein de 10 ecuaciones representado por  $R_{\alpha\beta}=0$  se reduce a tres. De esta forma se encuentra un tensor métrico que, a una cierta distancia  $r = R$ , se convierte en el elemento lineal de Lorentz, es decir en la métrica de la relatividad especial. Con esto se consigue que el elemento lineal de Swarzschild sea un caso particular del nuevo elemento encontrado.

El elemento lineal más general en simetría esférica es

$$ds^2 = e^{\phi} (dx^1)^2 - e^{\phi} dr^2 - e^{\xi} r^2 d\theta^2 - e^{\xi} r^2 \sin^2 \theta d\phi, \text{ donde } \phi, \theta, \xi \text{ son funciones,}$$

y el obtenido por Goded es

<sup>10</sup> Goded Echevarría, Federico, “Structure, potentials, and state vectors of free central static gravitational fields”, *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v 67, 1973, p. 441-466.

$$ds^2 = \left(a - \frac{d}{r}\right) c^2 dt^2 - \left[ \frac{a^2}{(2-br)^4 (c-d/r)} \right] dr^2 - \left[ \frac{ar^2}{(2-br)^2} \right] (d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2)$$

donde en cambio ahora las incógnitas  $a$ ,  $b$ ,  $d$  son constantes que se calculan en función de las condiciones de contorno, lo que es una ventaja frente al anterior elemento de línea, que es un caso particular de éste último.

En un siguiente artículo, Goded demuestra que usando el anterior elemento de línea, dependiente de constantes asociadas a las condiciones de contorno, se obtienen los valores experimentales de precesión del perihelio de Mercurio, Venus y la Tierra y también del ángulo de deflexión de los rayos lumínicos que pasan cerca del Sol, con lo que se demuestra la corrección del elemento de línea calculado.<sup>11</sup>

Además, hay una importante diferencia conceptual del elemento de línea de Goded y el de Schwarzschild, ya que éste último se convierte en el elemento de línea de un espacio plano según la métrica de Lorentz para  $r=\infty$ , en cambio con el de Goded ocurre lo mismo para un valor finito,  $r=R$ . Es decir, la métrica asociada al elemento de línea de Goded admite la posibilidad de pasar a ser euclídea cuando la distancia del Sol es lo suficientemente grande para que no contribuyan los efectos relativistas. Además este nuevo elemento lineal es una solución de las ecuaciones de Einstein  $R_{\alpha\beta}=0$ .

En 1975 Goded planteó el problema de que las ecuaciones de campo de Einstein sólo han tenido respaldo experimental para el caso del espacio vacío, es decir  $R_{ab}=0$ , aunque reconoce que dichas ecuaciones de campo en función del tensor energía-impulso “de entre las numerosas teorías de la gravedad existentes son con gran diferencia las más aceptadas en el momento actual”.<sup>12</sup> A pesar de esto, para él no son válidas por dos motivos: porque estas ecuaciones no contemplan de una manera explícita las fuerzas gravitatorias y el motivo más fuerte es porque, para obtener en el límite la ecuación de Poisson, el tensor  $T_{ab}$  debe corresponderse a un fluido de partículas sin interacciones mutuas, lo que en realidad es un caso particular de la materia neutra.

Para solventar dichos problemas, hay que introducir un tensor  $D_{ab}$  que represente las fuerzas gravitatorias, y direcciones de dichas fuerzas, en cada punto del espacio cuatridimensional de Riemann. Por analogía con el campo electromagnético, este tensor debe ser similar formalmente al tensor electromagnético  $F_{ab}$ . Considerando las ecuaciones de Klein-Gordon  $R_{ab}=-k^2 g_{ab}$  que describe las ecuaciones de campo de partículas con masa en reposo  $m_0 = h\nu/2\pi c$  y cómo dicha ecuación debe verificarse para todos los puntos del espacio-tiempo y todas las partículas con diferentes masas y volúmenes, entonces se puede reescribir dicha ecuación de la forma  $R_{ab} = -A\sigma g_{ab}$ , donde  $A$  es una constante y  $\sigma=\sigma(x^i)$  la densidad en el mismo punto en que se evalúe  $g_{ab}$ . Para determinar la constante hay que exigir que dicha ecuación debe contener

<sup>11</sup> F. Goded, “The perihelic shift of Mercury, Venus and the Earth and the deflection of light rays grazing the sun. New relativistic computations and some of their conceptual implications”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 67, 1973, p.573-598.

<sup>12</sup> F. Goded, “Gravedad en el espacio no vacío”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 69, 1975, p.41-48.

como límite clásico la de Poisson. Realizando los cálculos correspondientes se obtiene que  $A = 8\pi K/c^2$ , con lo que la ecuación final queda:

$$R_{ab} + \frac{8\pi k}{c^2} \sigma g_{ab} = 0, \text{ que cumple con las condiciones de tener como límite la ecuación}$$

de Poisson, convertirse en la ecuación de Einstein  $R_{ab}=0$  para el espacio vacío y solventar los problemas indicados anteriormente, es decir permite estudiar los casos de distribución homogénea e isotrópica en todo el universo.

En otro artículo, Goded trata algunos aspectos del problema del movimiento radial en la geometría de Schwarzschild, que le valen para plantear una posible alternativa a la teoría de la gravitación de Einstein.<sup>13</sup> Aunque el caso del movimiento radial ya había sido tratado con asiduidad por varios autores, su propósito es ofrecer una nueva interpretación de las ecuaciones de movimiento que tienen “importantes implicaciones en la teoría de la gravitación según la Relatividad General”. Anuncia que la misma interpretación se puede concluir en el caso de movimientos cualesquiera.

Considera Goded el elemento lineal de Schwarzschild para una partícula de masa en reposo  $m_0$  que se mueve radialmente en el campo gravitatorio debido a una masa  $M$  distribuida con simetría esférica, calcula las ecuaciones para la velocidad y la aceleración, de las que obtiene la magnitud de la fuerza gravitacional. Aplica el mismo caso para partículas con masa en reposo nula de lo que concluye que no son atraídas por la masa  $M$ . En general:

Podemos concluir que si la gravedad está correctamente descrita por  $R_{\alpha\beta} = 0$ , la fuerza gravitatoria no depende como aquí se ha demostrado más que de las masas en reposo  $M$  y  $m_0$  y de la posición de la partícula. En otras palabras, una partícula de masa  $m_0$  al entrar en el campo gravitatorio producido por la masa  $M$ , experimentará una atracción de magnitud  $GMm_0/r^2$ .

Esta fuerza solo cambiará de magnitud en un punto dado, si en ese punto, y como consecuencia de recibir o entregar energía, su masa en reposo cambia, y pasa a ser  $m_0 \neq m_1$  en cuyo caso la nueva magnitud de  $F$  sería  $GMm_1/r^2$ .

Y para terminar debe señalarse que la ecuación  $G_{\alpha\beta} = 4\pi T_{\alpha\beta}$  no es sino la consecuencia de admitir la hipótesis de que la fuerza gravitatoria es proporcional a la energía total del cuerpo. Si los resultados aquí presentados son correctos esta hipótesis no es válida. Ello evidentemente implicaría substituir  $G_{\alpha\beta} = 4\pi T_{\alpha\beta}$  por otra ecuación según la cual la fuerza gravitatoria fuera proporcional a la masa en reposo del cuerpo. Esta ecuación es  $R_{ab} + 4\pi\sigma g_{ab} = 0$  en la cual  $\sigma(x^i)$  representa la densidad de la masa en reposo en el punto  $(x^i)$ .<sup>14</sup>

<sup>13</sup> F. Goded, “Movimiento radial de partículas con masa en reposo no nula en una geometría de Schwarzschild”, *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 70, 1976, p. 695-708.

<sup>14</sup> Goded, *Ibidem*, 1976, p. 707.

Vemos que aquí Goded plantea una teoría de la gravitación alternativa a la de Einstein, pero realmente parece que no tuvo eco en la comunidad científica. De hecho, en varios de estos artículos de la Academia de Ciencias avisa unas veces que escritos similares van a aparecer en *Physical Review*, y otras, más prudente, que las ha remitido al mismo medio para su aprobación y publicación. Pero según las búsquedas que he realizado, parece que no llegaron a publicarse<sup>15</sup>.

Donde sí pudo publicar Goded fue en *General Relativity and Gravitation*, con dos artículos que se corresponden, según indica él mismo, con sendas comunicaciones en la séptima conferencia internacional de gravitación y relatividad, celebrada en 1974 en Tel-Aviv.

En el primero de ellos, señala Goded que se puede buscar un formalismo común en notación tensorial que englobe las teorías gravitatorias de Einstein y de Newton, en el que habría un nuevo tensor antisimétrico representativo de las fuerzas newtonianas  $T_{\mu\nu}$ , y en el que todas las componentes son cero salvo  $T_{12} = -k/r^2$  y  $T_{21}=k/r^2$ . Esta idea la basa en que hay un paralelismo entre las ecuaciones de campo gravitatorio en función del tensor métrico  $R^{\nu\mu}$  y las del campo electromagnético en función del tensor electromagnético  $F^{\nu\mu}$ . Obtiene Goded el elemento de línea correspondiente, en el que la métrica de Schwarzschild es un caso particular.<sup>16</sup>

En el segundo destaca que aunque la fuerza gravitacional es la más débil de las existentes, es la dominante en los fenómenos astronómicos a gran distancia. Esto implica que, en cuanto al problema cosmológico, se pueden ignorar el resto de campos. Partiendo de los resultados anteriores de una teoría general de la gravitación y de la generalización de la métrica de Robertson-Walter, obtiene también un modelo expansivo del universo de acuerdo a la ley de Hubble.<sup>17</sup>

Por último, Goded publicó en 1974 un libro completo sobre relatividad general, *Relatividad general: estado actual y tendencias previstas*<sup>18</sup>. Esta obra surgió como resultado de un ciclo de conferencias, con el mismo título, impartidas en la Academia de Ciencias de Madrid por encargo del *Instituto de España*. Aquí se muestra más ortodoxo en la línea de lo aceptado comúnmente sobre relatividad, tratando en profundidad los espacios de Riemann, el tensor de curvatura y tensores derivados, las ecuaciones de Einstein del campo gravitatorio, los campos estáticos centrales en relatividad general, las teorías unitarias y los modelos cosmológicos.

Aunque se hace eco de la opinión de Fock que considera la relatividad general como uno de los mayores logros del genio humano, afirma Goded que “tiene todavía un largo camino por recorrer, pues todavía no ha sido vinculada a las grandes corrientes

<sup>15</sup> He realizado búsquedas en todos los catálogos electrónicos accesibles desde la UCM y en los índices de la propia *Physical Review*, sin resultados positivos.

<sup>16</sup> F. Goded, "Einstein and Newton's theories within the same formulation of the gravitational field", *General Relativity and Gravitation*, v 6, n1, 1975, 115-118.

<sup>17</sup> Goded, "Cosmological model imposed by a unified theory", *General Relativity and Gravitation*, v6, nº 1, febrero 1975, p119-121.

<sup>18</sup> *Instituto de España*, 1974

de la Física actual. Existe como un cuerpo de doctrina separado, aunque de muy importante entidad propia".<sup>19</sup>

En *Anales de la R. Soc. Esp. Física y Quím.* también aparecieron artículos genéricos sobre diversos temas de relatividad, por parte de una serie de físicos que no estaban relacionados con los diferentes grupos dirigidos por Bel.

Hubo algunos trabajos experimentales sobre detección de rayos cósmicos (con consideraciones relativistas),<sup>20</sup> sobre el efecto Mössbauer (que como sabemos se consideraba una prueba de la dilatación temporal)<sup>21</sup> o sobre medidas espectrales en las que se incluían correcciones relativistas.<sup>22</sup> En cualquier caso, aun siendo interesantes no son trabajos directos sobre relatividad aunque sí se consideraban los efectos relativistas en los cálculos.

González-Cascón, miembro del *Instituto de Estructura de la Materia* (Departamento de Mecánica Teórica, UCM) se aproximó en 1977 al novedoso problema de los taquiones.<sup>23</sup> El autor indica que la Teoría de la Relatividad está considerada como una teoría firmemente establecida, pero esta solidez no quiere decir que sea una teoría cerrada. Por ejemplo, el formalismo asociado a los taquiones<sup>24</sup>, aunque dentro del esquema relativista, considera partículas con velocidades mayores que las de la luz, que implican dificultades como la violación de la isotropía del espacio o fórmulas de transformación complejas. González-Cascón plantea unas fórmulas de transformación para el formalismo taquiónico que contengan un espectro discreto de singularidades, no sólo la asociada a  $v=c$ , y además que conserven la isotropía espacial y eviten el uso de cantidades imaginarias. Considera este caso como una extensión de la relatividad especial.

Las nuevas ecuaciones de transformación deben tener una serie de singularidades según el siguiente esquema  $|v| < c_1$ ;  $c_1 < |v| < c_2$ ;  $c_2 < |v| < c_3$ , de tal forma que se reduzcan a las transformaciones de Lorentz si sólo se da la primera singularidad.

Una solución que incluyera la posibilidad de los taquiones ya fue propuesta por Gorini en 1971, dentro del ámbito del grupo de Poincaré, aunque con soluciones complejas. Otro autor italiano, Goldini, con quien estuvo en contacto el físico español para la elaboración de este trabajo, propuso la validez de un principio de relatividad sin incluir las propiedades de grupo en sus transformaciones.

Las transformaciones obtenidas son

$$x' = \gamma(v) (x - vt); \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \gamma(v) (t - \beta(v)x)$$

<sup>19</sup> Goded, *Relatividad general: estado actual y tendencias previstas*, Instituto de España, 1974, p. 9.

<sup>20</sup> F. Fernández, J. Medina, J. Sequeiros, A. Vidal-Quadras, M. Ortega y A. Dura, "Determination of the charge of relativistic heavy primaries in cosmic radiation by photometric and ray counting methods", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, v 72A, 1976, p 38-42.

<sup>21</sup> Tejada Palacios, "Estudios Mössbauer de los estados de carga y simetrías del  $^{57}\text{Fe}^m$  en diversas espinelas de cobalto", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 73A, 1977, p 39-44; Gancedo, Martínez y Oton, "Low cost Mössbauer spectroscopy drive system", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 74A, 1978, p 40-44.

<sup>22</sup> Bailon y Sánchez Gomez, "The spectrum of "charmonium in a relativistic potential model", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, v 73A, 1977 p 115-116.

<sup>23</sup> Gonzalez-Cascon, "Special relativity with a discrete spectrum of singular velocities", *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 73A, 1977, p 151-158.

<sup>24</sup> Los taquiones son unas partículas hipotéticas sin confirmación experimental.

$$\text{con } i \geq 1; \quad c_i < |v| < c_{i+1}; \quad c_1 = c; \quad \beta_i(v) = v/c_i; \quad \gamma_i(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2 \beta_i^2(v)}}.$$

Este sistema sería el mismo que el de Lorentz para el caso  $|v| < c$  y tendría la única dificultad de que no sería un grupo, lo que el autor reconoce es un alto precio, pero salva el problema de las cantidades imaginarias y la anisotropía del espacio. En cualquier caso González-Cascón reconoce que es una tentativa hipotética.

También en *Anales* Martínez Salas y Gambi Fernández trataron en 1979 el problema del movimiento rígido en relatividad, concluyendo que los conceptos de rigidez e indeformabilidad no son equivalentes en relatividad especial, son en realidad conceptos disociados, al contrario de lo que ocurre en mecánica clásica, donde son sinónimos.<sup>25</sup> Partiendo de ideas establecidas por Born para definir movimientos rígidos en relatividad especial, en 1953 Matrai estableció las condiciones para que dos partículas se consideren rígidamente conectadas, condiciones expresadas en términos de las líneas del universo de ambas partículas.

Se dice que dos puntos que se mueven con velocidad constante están rígidamente unidos cuando existe un sistema inercial  $S$  respecto del cual dichos puntos permanecen fijos. Se demuestra fácilmente que, en el ámbito de la física clásica con las transformaciones de Galileo, para otros sistemas de referencia inerciales dichos puntos también permanecen fijos. Ello sugiere que también en relatividad especial ocurre lo mismo, como efectivamente se puede demostrar. En Mecánica clásica “un cuerpo rígido, es decir, un cuerpo en el que se mantiene constante la distancia entre cada par de puntos del mismo, es indeformable en el transcurso en el transcurso de cualquier movimiento que realice y en cualquier sistema desde el que se le observe”. En cambio, en la relatividad especial estamos ante una rigidez con indeformabilidad relativa, ya que la forma de un cuerpo se conserva dentro de cada sistema, pero varía al pasar de un sistema a otro. Se expresa esto diciendo que el cuerpo es rígido en el movimiento considerado, con lo que el concepto de rigidez pierde el carácter absoluto que tenía en la mecánica clásica. Así, en relatividad especial, el concepto de rigidez es equivalente al de Born, en el sentido en que dos partículas en movimiento rectilíneo y uniforme estén rígidamente conectadas implica que sus líneas del universo sean dos rectas paralelas, lo que también se demuestra.

José M. Gambi Fernández pertenecía al Departamento de Física Teórica de la Universidad de Valladolid y ya se había especializado en la materia tratada en el anterior artículo cuando se doctoró en 1976 con la Tesis *Movimientos rígidos en relatividad*. En esta tesis plantea inicialmente el estudio de las relaciones de rigidez entre puntos rígidamente unidos en el marco de la cinemática clásica. Extiende su análisis a la estructura geométrica de la relatividad especial. Para ello, previamente reelabora los principales resultados conocidos de la relatividad con una definición de referencial inercial relacionada con otro sistema de referencia constituido por pares de puntos rígidamente unidos. La relación de rigidez así obtenida permite establecer una serie de propiedades para extender el estudio al marco de la relatividad general.

---

<sup>25</sup> Martínez Salas y Gambi Fernández, “Un concepto de movimiento rígido en relatividad especial”, *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, v 75A, 1979, p 3-6.

En 1979 Martínez Alonso publicó un trabajo puramente matemático sobre teoría de invariancia y leyes de conservación en el ámbito de la dinámica analítica, teóricamente válido tanto para física clásica como relativista.<sup>26</sup>

Por último, Álvarez Gaume, del Departamento de Física Teórica de la UAM, estudió, en el marco de la teoría de Dirac, el campo de radiación del electrón en su línea del universo, presentando un método alternativo para deducir el término de amortiguamiento de la radiación.<sup>27</sup> Considera el tensor del campo electromagnético  $F_{\nu\mu}$  en el que calcula la parte correspondiente a la radiación, obteniendo un tensor de radiación  $F_{\nu\mu}(\text{rad})$  que le sirve para obtener la fuerza debida a la reacción, término que se debe añadir a la fuerza clásica de Lorentz debida al campo electromagnético. El resultado le permite concluir la interpretación física sobre la naturaleza singular del cono de luz en el espacio de Minkowski debido a la autointeracción de la fuerza de Lorentz con la de la radiación.

En cuestiones más propias de la astronomía, muy interesante resulta el trabajo que dirigió José María Torroja (miembro del Observatorio Astronómico de Madrid), con apoyo de Manuel Rego (otro miembro del observatorio), al físico hindú Prem Kundanmal Sukhwani, denominado “Modelos teóricos de curvas de luz. Su aplicación al sistema  $\beta$  Lyrae” y que apareció en *Urania* en 1975.<sup>28</sup> El interés reside en que se estudia en profundidad una de las previsiones de la relatividad general, el efecto debido a las lentes gravitacionales.

$\beta$  Lyrae es un sistema binario con una variación irregular en su luminosidad. Mediante espectrografía se comprueba que la componente secundaria del sistema sólo contribuye en una mínima parte a la luz de dicho sistema, que las velocidades radiales varían y que en un momento la componente brillante es eclipsada, a pesar de que no se detecta el espectro de la otra componente de baja luminosidad. También se comprobó que había una transferencia de masa de un componente a otro. Todo esto dio lugar a varias interpretaciones que el autor analiza en detalle. Una de ellas consideraba el efecto lente gravitacional de la relatividad general, que es la que aquí nos interesa. La explicación teórica del efecto lente gravitacional es brillante, por lo que la reproduzco a continuación

Sabemos que la luz, como predice la teoría de la relatividad, es desviada por los campos gravitatorios. Esto se ha comprobado experimentalmente por la variación de las posiciones aparentes de las estrellas cerca del sol durante el eclipse de éste y también por las medidas de radio efectuadas para los cuásares que pasan detrás del sol.

Por tanto, si hay una concentración de materia suficiente en algún lugar del espacio debemos esperar que produzca efectos apreciables sobre la materia y radiación que se hayan en las proximidades. Incluso podemos imaginar si el campo gravitatorio es muy intenso que la radiación no

<sup>26</sup> Martínez Alonso, “La correspondencia entre grupos de invariancia y leyes de conservación para sistemas lagrangianos normales”, *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, v 75-A, 1979, p 33–36.

<sup>27</sup> Álvarez Gaume “On the radiation-reaction terms which appear in classical electrodynamics”, *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím.*, v 75-A, 1979, p 195-197.

<sup>28</sup> Prem Kundanmal Sukhwani, “Modelos teóricos de curvas de luz. Su aplicación al sistema  $\beta$  Lyrae”, *Urania*, nº 284, Julio Diciembre 1975, p1-56.

pueda escapar de éste. Sin embargo, nosotros sólo estamos interesados ahora en el fenómeno de la deflexión de la luz.

La fuerza de la gravedad es siempre atractiva, lo cual se enuncia teóricamente diciendo que la masa siempre es positiva. Por el principio de equivalencia, esto está relacionado con el hecho de que sea siempre positiva la densidad de energía, lo cual se considera como una consecuencia de la mecánica cuántica local. Debido a esto, los rayos de la luz que pasan cerca de un objeto de suficiente masa se desvían acercándose.

Es decir, tenemos un efecto lente debido al efecto gravitatorio de la materia. Por ser siempre positiva la masa el efecto lente es siempre convergente.

Este efecto ha sido estudiado por mucho autores en diversas direcciones. Una de ellas es el aumento de la imagen de una estrella, la estrella fuente, por otra que se llama deflectora que se alinea con nosotros y delante de la fuente. El aumento puede llegar a algunos miles de veces, pero es poco probable que se produzca en nuestra galaxia.

Además el alineamiento con nosotros de dos estrellas no es un suceso reproducible y sería difícil demostrar que se produjo. Otra dirección en la que se ha estudiado este efecto es en la deflexión y amplificación de los rayos de luz en el campo gravitatorio de galaxias y cúmulos de galaxias.<sup>29</sup>

Para el cálculo teórico del efecto lente gravitacional y su posible aplicación a las observaciones del sistema *Beta Lyrae*, el autor considera la solución de Schwarzschild para el campo gravitatorio en un objeto con simetría esférica. Este objeto sería el deflector de los rayos provenientes de la lejanía. Calcula las distancias de los rayos al deflector y los ángulos de deflexión de ambos rayos. Para las aproximaciones que realiza, donde calcula el aumento de luminosidad por efecto lente, se basa en literatura reciente (Leibovitz y Hube en 1971 y Maeder, 1973). Estos autores obtuvieron curvas de luz teóricas para el efecto de lente gravitacional en el caso de un sistema binario eclipsante. Nuestro autor aplica la propuesta teórica de estos autores a las observaciones de *Beta Lyrae*, calculando el aumento de luminosidad por el efecto lente gravitatoria y comprobando que no coincide con las observaciones, de donde concluye que “este efecto es inapreciable en el sistema *Beta Lyrae*”.

La conclusión del autor hindú en su trabajo en España y dirigido por Torroja, es que descarta, por motivos observacionales la hipótesis de la lente gravitacional para este sistema. En ningún caso se puede deducir que no asuma el principio teórico basado en la relatividad general, principio que considera perfectamente válido aunque no como ejemplo para este sistema. Los motivos para descartarlos son muy complejos y se escapan del ámbito de nuestro objetivo. También en detalle explica los motivos de su propuesta (aunque la hace con reservas), consistente en que  *$\beta$  Lyrae* es un sistema binario eclipsante en contacto (sistema binario de luminosidad variable donde esta

---

<sup>29</sup> Prem Kundanmal Sukhwani, *Ibíd.*, *Urania*, 1975, p. 19.



variación no es debida a una variación intrínseca de la luminosidad, sino a que la luz de una estrella es tapada por otra. Además el hecho de que estén en contacto es que sus superficies equipotenciales, es decir las superficies imaginarias a lo largo de las cuales la intensidad gravitatoria es constante, coinciden en un punto). Esta propuesta se aceptó posteriormente por la comunidad astronómica internacional, siendo la que hoy en día se mantiene para este sistema<sup>30</sup>. De hecho, aunque la propuesta teórica del efecto de lente gravitacional ya se hizo por parte de Einstein y Zwicky en 1930, en los años 60 hubo un renacimiento de este tema y en los 70 se consideraron varias observaciones como ejemplos de dicho efecto, hasta 1993 no se detectó realmente el efecto de lente gravitatoria relativista, con acuerdo de la comunidad científica respecto a la interpretación de las observaciones.<sup>31</sup>

Otro caso interesante es el de Angel Luis López Ramos, quien obtuvo el grado de doctor por la Universidad Politécnica de Madrid, con una tesis sobre relatividad realizada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid en 1976. Dicha tesis se titula *Análisis de la métrica espaciotemporal en puntos de un dominio finito de un sistema no inercial*. La idea es estudiar la métrica de observadores en sistemas no inerciales con las herramientas de la relatividad restringida (en principio sólo válida para sistemas inerciales). Para ello no considera la aceleración directamente, sino a través de sucesivas velocidades, de tal forma que se puede aproximar una solución en la que dicha aceleración no afecta a la métrica espaciotemporal. Con ello se consiguen resultados similares a los de la relatividad general pero con un procedimiento más sencillo que el habitual.

Una tesis más en la línea marcada por las directrices de la época en la comunidad relativista es la de Enric Verdaguer Oms sobre un problema clásico de la física, el de los N-cuerpos. La tesis se denominó *Problema de n cuerpos en relatividad general e invariancia de las ecuaciones del movimiento*, presentándola en 1976 para obtener el grado de doctor por la Universidad Autónoma de Barcelona, en el Departamento de Física Teórica de la Facultad de Ciencias. Consiste inicialmente en estudiar el movimiento de n cuerpos en la aproximación de movimiento lento, en el marco de la teoría de la relatividad general. Se obtienen unas ecuaciones que, en primera aproximación (del orden de  $1/c^2$ , siendo  $c$  la velocidad de la luz), admiten como transformación de simetría las transformaciones de Lorentz. Esto no ocurre en general para las ecuaciones del movimiento hasta el orden  $1/c^4$ , pero se puede encontrar una condición particular, denominada armónica, para la cual dichas ecuaciones son invariantes Lorentz. Esto permitirá definir una propiedad del centro de masas del sistema hasta el orden  $1/c^4$ . Para ello se calculan las métricas hasta el orden  $1/c^4$  para un sistema de n cuerpos esféricos y de pequeñas dimensiones respecto de sus separaciones y movimiento de rotación lento. Por otra parte se buscan las transformaciones que dejan invariantes a las métricas, se estudia la invariancia de las ecuaciones del movimiento encontrándose que en la condición particular de la armónica éstas son invariantes Lorentz.

---

<sup>30</sup> Ver John Gribbin, *Companion to the Cosmos*, Londres, 1996, versión en español, *Diccionario del Cosmos*, Crítica, Barcelona, 1997, p. 338.

<sup>31</sup> John Gribbin, 1997, p. 189.

Jesús Ibañez Medrano se doctoró en 1979 por la Universidad Autónoma de Madrid con su tesis *Aproximación de movimiento rápido en relatividad general*, que estuvo dirigida por Jesús Martín. En el tribunal, además del director de la tesis, estuvieron Lluís Mas y Ramón Lapiedra.

Es interesante destacar la que posiblemente haya sido la primera tesis doctoral sobre historia de la relatividad, a cargo de Antonio E. Ten en 1978, *Sobre los principios que sirven de base a la relatividad restringida*, presentada en la Universidad de Valencia. En este sentido, en cuanto a historia de la relatividad, no podemos dejar de citar, aunque esté ya fuera del alcance temporal marcado en nuestro objetivo, el extraordinario libro de Sánchez Ron, *El origen y desarrollo de la relatividad* (Alianza, 1983) que marca un hito en nuestro país en Historia de la Ciencia. Sobre aspectos históricos también cabe citar la investigación de Antonio Lafuente sobre el proceso de recepción de la relatividad en España con su memoria de licenciatura *Introducción a la relatividad especial en España* (Universidad de Barcelona, 1978).

Sobre aspectos relacionados con mecánica cuántica relativista se realizaron también algunas tesis doctorales. Dos tesis de la Facultad de Físicas de la Universidad Complutense de Madrid en 1978, la de Ramírez Mittelbrun y la de Luis García Gonzalo. En la primera, *Análisis grupal de la aproximación galileana en teoría cuántica relativista*, bajo dirección de Mariano Quirós Carcelén, se estudia el proceso de contracción del grupo de Poincaré al grupo de Galileo (basándose en la teoría de contracción de grupos y álgebra de Lie) para aplicarlo a una generalización de la transformación de Foldy-Wouthuysen a spin arbitrario. Con ello se logra estudiar el fenómeno de interacción con un campo electromagnético externo. En la de Luis García Gonzalo, *Estudio clásico de un modelo relativista de partícula*, se estudia un modelo de partícula en el marco de la teoría clásica de campos partiendo de un lagrangiano de Dirac no lineal en acoplo pseudovectorial con un campo pseudoescalar real. García Gonzalo resuelve numéricamente las ecuaciones correspondientes para casos particulares, como los de los nucleones.

En la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza se presentaron dos tesis sobre estudios relativistas de fenómenos de desintegración. La primera, en 1977, es de José Luis Cortes Azcoiti, *Estudio relativista de las desintegraciones electromagnéticas y débiles de bariones en el modelo quark*. La segunda, en 1979, de José Vicente García Esteve, *Desintegraciones electromagnéticas y débiles de mesones en un modelo quark relativista*.

Siguiendo sobre cuestiones de mecánica cuántica relativista, cabe destacar también el trabajo de Pedro Pascual y Lluís Mas, los dos pertenecientes al Departamento de Física Teórica de la Universidad de Barcelona y al Grupo Interuniversitario de Física Teórica de Altas Energías, que plantearon un nuevo método de resolver la ecuación de Lorentz-Dirac<sup>32</sup> en presencia de un campo electromagnético externo.<sup>33</sup>

---

<sup>32</sup> Es la modificación relativista por parte de Dirac de las ecuaciones de movimiento de una partícula cargada en un campo electromagnético, conocida como ecuación de Lorentz o fuerza de Lorentz ( $\mathbf{f} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \wedge \mathbf{B})$ ), que da la expresión de la fuerza ejercida sobre una carga  $q$  con velocidad  $\mathbf{v}$ , por el campo eléctrico  $\mathbf{E}$  y el magnético  $\mathbf{B}$ , el símbolo  $\wedge$  indica producto vectorial).

Por otro lado, aunque mi trabajo en principio abarca hasta 1979, me parece importante añadir otra referencia de principios de los años ochenta sobre una nueva línea de investigación de Lluís Bel acerca de los púlsares, que se basa, evidentemente, en sus trabajos anteriores. El motivo de considerar esta contribución de Bel es porque se basa en otras anteriores suyas y porque antes no se había publicado ningún estudio teórico por parte española sobre los púlsares, salvo la aproximación de alto nivel divulgativo ya analizada de Antonio Romañá y José Pensado. Según Alfons Carpio Rovira, mediante información obtenida por él en entrevista personal con Lluís Bel, los trabajos teóricos de Bel sobre radiación gravitacional han permitido realizar un estudio cuantitativo de la evolución del pulsar binario PSR 1913+16, que ha proporcionado una prueba de la no linealidad de la relatividad general<sup>34</sup>. También Senovilla afirma que Bel ha sido un pionero en el análisis teórico de la evolución dinámica de los púlsares binarios y su aplicación al más famoso de todos ellos el PSR 1913+16.<sup>(35)</sup>

A principios de 1968 observaciones radioastronómicas registraron unas pulsaciones procedentes de una radiofuente, con destellos muy netos de 0,3 sg de duración y separados por un intervalo de duración cuatro veces mayor, que se mantenía constante con una precisión comparable a la de los relojes atómicos. La frecuencia observada sólo podía ser posible para un astro de dimensiones muy pequeñas pero extremadamente denso, como la masa de una estrella normal confinada dentro de un volumen de dimensiones planetarias. De lo contrario, un cuerpo sometido a tan veloz rotación o vibración se desintegraría en breve tiempo. Estos astros superdensos no podían ser otros que las llamadas estrellas de neutrones. Más tarde se contempló la posibilidad de una nueva familia estelar, las estrellas colapsadas. En éstas el hundimiento sobre sí mismas sería total y sus campos gravitatorios tan enormes que, en sus inmediaciones, la curvatura relativista del espacio se llegaría a convertir en un verdadero cierre de éste sobre sí mismo, de modo que de tales astros no podría escapar ya ninguna radiación ni partícula material. Por este motivo se les ha dado el nombre de agujeros negros, ya que de ellos no se emite luminosidad alguna; tales astros sólo podrían ser descubiertos por los efectos de sus campos gravitatorios.

En definitiva, el estudio de los púlsares es fundamental en la nueva disciplina de la astrofísica relativista y en general en la teoría relativista de la gravitación, principalmente porque en el caso del pulsar binario se pueden producir las condiciones para detectar ondas gravitacionales. Así, Bel junto con otros colaboradores, dos franceses y dos españoles (Jesús Ibáñez y Jesús Martín), publicó un trabajo sobre radiación gravitacional en 1981 en el que incluía el estudio analítico del pulsar anteriormente mencionado.<sup>36</sup>

---

<sup>33</sup> P. Pascual y L. Mas, "Particle in a electromagnetic field: The Lorentz-Dirac equation", *Physical Review D*, v 9, n 8, 1974, p 2482-2483.

<sup>34</sup> Alfons Carpio, *Ciència i política exterior francesa...*, Universidad Autónoma de Barcelona, 2002, p74.

<sup>35</sup> Senovilla, "Editor's note Radiation States...", *General Relativity and Gravitation*, v 32, n° 10, 2000, p 2046.

<sup>36</sup> Luis Bel, Thibaut Damour, Nathalie Deruelle, Jesús Ibáñez (Univ. País Vasco) and Jesus Martin (Univ Salamanca), "Poincaré-invariant gravitational field and equations of motion of two pointlike objects: The postlinear approximation of general relativity", *General Relativity and Gravitation*, Volume 13, Number 10 / octubre de 1981.

Luis Boya, de la Universidad de Zaragoza, y José María Cerveró, de la de Valladolid, en este caso ajenos al grupo de Bel, orientaron sus investigaciones a una disciplina específica, la geometría conforme en cuestiones de invariancia de la relatividad general, y su posterior aplicación al estudio de la teoría de Brans-Dicke. En este sentido, Cerveró también dirigió investigaciones sobre este tema, en concreto a Pilar García Estevez, que realizaría su tesis doctoral en 1982, con el título *La invariancia conforme en gravitación y cosmología*, por el Departamento de Física Teórica de la Universidad de Salamanca.<sup>37</sup> En 1975 Boya y Cerveró publicaron en *International Journal of Theoretical Physics* una serie de artículos sobre grupos de transformación conformes, válidos tanto para la física clásica como relativista.<sup>38</sup> Posteriormente, ya en 1982 Cerveró haría uso de esta teoría para tratar la teoría de Brans-Dicke<sup>39</sup>. Igualmente, en su tesis doctoral, anteriormente citada, Pilar García analizó teóricamente en detalle dicha teoría.

La importancia de la teoría de Brans-Dicke, formulada en 1959 como una teoría de la gravitación diferente de la de Einstein, reside en que, de todas las alternativas a la relatividad, ésta fue la que tuvo más solidez, ya que conservaba muchos elementos de la relatividad general, como el espacio-tiempo curvo. A mediados de los 60 se consideró esta alternativa como la más viable, cuando algunos hechos experimentales parecieron refutar la gravitación einsteniana, como es el fenómeno de la posible obladez del sol. Recordemos que en España se trató de forma breve este problema. Este acontecimiento, en principio contrario a la relatividad general, implicó un importante debate. Unas observaciones del Sol, realizadas en 1966 por Dicke y Golenberg implicaban la puesta en cuestión del valor teórico del desplazamiento del perihelio de Mercurio debido a los efectos relativistas. El problema estaba en determinar si el sol era una esfera o era más ancho en el ecuador, es decir estaba oblado o achatado. Como el sol rota cada 27 días, el efecto teórico de la obladez por las fuerzas centrífugas es de una diferencia de diámetro de 200m, es decir una diezmilésima parte, pero se encontró una diferencia de diámetro de 52 Km (el detalle de esta suposición era por la interpretación de una diferencia de brillo en el sol). Si el valor de esa obladez era correcto afectaba a los cálculos gravitatorios, en la dirección de la atracción y en un factor  $1/r^4$  adicional a  $1/r^2$ , que implicaban 3 sg de arco, luego el valor atribuible a la relatividad general debería ser sólo de 40 sg, lo que ya estaba fuera del error experimental. Además, la teoría de Brans-Dicke sí daba un valor aproximado de 40 sg por arco. Todo esto implicó un debate muy extenso entre la comunidad relativista. La teoría de Brans-Dicke se desechó más tarde por no corresponderse con otros resultados experimentales. Las mediciones de obladez visual de Dicke y Goldenberg de 1966 no han sufrido refutaciones, en 1974 hicieron un reanálisis completo de los datos llegando a las mismas conclusiones. Todavía hay desacuerdo respecto a la interpretación de los datos como una obladez real o como una diferencia en la luminosidad solar. En 1973 se repitieron las observaciones por

---

<sup>37</sup> Pilar García Estevez, *La invariancia conforme en gravitación y cosmología*, Universidad de Salamanca, 1983 (Resumen de su tesis doctoral).

<sup>38</sup> Luis Boya y José M. Cerveró, "Contact Transformations and Conformal Group. I. Relativistic Theory", *International Journal of Theoretical Physics*, v 12, nº1, 1975, p 47-54.

<sup>39</sup> José M. Cerveró y P.G. Estevez, "General Solutions for a Cosmological Robertson-Walker Metric in the Brans-Dicke Theory", *General Relativity and Gravitation*, v 15, nº 4, 1983, p351-356.

parte de Hill de Princeton, en un observatorio especialmente diseñado, el Laboratorio de Santa Catalina para Relatividad Experimental por Astrometría (la astrometría es la medición de alta precisión de la posición de los astros). Los resultados dieron una diferencia entre los diámetros del polo y ecuador de 2 Km, pero con un error de  $\pm 5$  veces este valor, lo que hace que los resultados sólo tuvieran consistencia para una oblatez muy pequeña (este resultado favorecía de nuevo la relatividad general).

El grupo de Hill trabajó en el mismo Laboratorio de Sta Catalina en 1976 para estudiar las vibraciones del Sol, unas distorsiones fluctuantes. Aunque no hay una teoría determinante de la causa, sí parece que se debe a la rotación interna del sol y en 1982 tras detallados análisis sostuvieron que el núcleo del sol giraba seis veces más rápido que su superficie (inicialmente Dicke postuló esta teoría como la causa de la oblatez, pero sin basarse en observaciones). Este valor implicaría un achatamiento del sol 5 veces menor que el de Dicke pero 50 veces mayor que el convencional y el aporte de tal oblatez al perihelio de Mercurio sería de medio segundo de arco por siglo.

Otras medidas dieron resultados dispares, y hacia mediados de la década de los 80 no había consenso respecto de la magnitud de la oblatez. Una solución sería buscar experimentalmente otras perturbaciones en otros planetas debida a la oblatez. Gracias a las técnicas de medición de radar, se ha sugerido enviar una sonda al sol (Starprobe).

Como vemos, Robert H. Dicke ha sido una de los científicos más importantes en el resurgimiento de la relatividad experimental, con más mérito aun por haberse postulado fuera de la ortodoxia relativista, pero promovió también experimentos que refutarían su propia teoría y consolidarían la relatividad general. Desarrolló, junto con Carl Brans la teoría escalar-tensor de la gravedad, que lleva el nombre de los dos, siendo, como he indicado anteriormente, el primer desafío serio a la relatividad general.

En los años anteriores y posteriores a la publicación de la relatividad general, se plantearon muchas teorías alternativas de la gravedad, la mayoría intentaban evitar el espacio-tiempo curvo. Pero fracasaron por no tener solidez ni teórica ni experimental. Hacia finales de los 50 ninguna de estas teorías podía considerarse como alternativa fiable a la relatividad general. Dicke aceptaba el principio de equivalencia y la idea de espacio-tiempo curvo, pero planteó un problema con el principio de Mach, que consistía en que las propiedades inerciales y gravitacionales de la materia deben estar ligadas en algún sentido con el resto de materia del Universo, o dicho de otro modo el que la materia distante en rotación pueda afectar las propiedades locales del espacio-tiempo. En principio, la relatividad general debería ser capaz de dar cuenta de este hecho, pero hacia 1960 tampoco estaba claro si incorporaba en sus soluciones el principio de Mach. Esta es la idea de emplear giróscopos en el espacio para comprobar experimentalmente este hecho. Este tema es el que planteó Dicke, considerando que si se toma el radio y la masa del universo visible podía haber una relación numérica entre el valor de la constante de gravitación  $G$  (recordemos que presente tanto en la gravitación newtoniana como en la einsteniana). Si  $G$  está determinado por la distribución de materia en el Universo, entonces podría ser variable

con el tiempo y pensó en pruebas experimentales para detectar dicha variación, lo que le llevó a trabajar en el programa de exploración lunar por láser. Como en relatividad general,  $G$  debe ser una constante de la Naturaleza, esta nueva teoría suponía una alternativa seria si se lograba demostrar la variación de  $G$  con el tiempo.

Dicke y Brans propusieron una teoría escalar-tensora de la gravedad, donde la parte tensorial era la asociada al tensor métrico relacionado con la curvatura del espacio-tiempo (coincidente con la relatividad general) y la parte escalar era la asociada al valor  $G$  como función del espacio y el tiempo, es decir comportándose como un campo escalar. Matemáticamente la teoría era muy parecida a la de la relatividad general con las ecuaciones modificadas por la presencia del campo escalar asociado a  $G$ . El valor de este campo está determinado por la distribución de materia, tanto en la vecindad del punto en cuestión como en el universo distante. También introdujo en su teoría una constante numérica ( $\omega$ ) que determinaba lo dominante del factor tensorial (de la curvatura del espacio-tiempo) frente al escalar. A mayor valor de  $\omega$  más dominante se hacía el factor vectorial, de tal forma que a partir de un valor de  $\omega$  su teoría se hacía indistinguible de la relatividad general. El problema es que había un cierto nivel de arbitrariedad en la elección del valor para  $\omega$  y según su valor los resultados se acercaban más o menos a los de la teoría de Einstein. Dicke propuso el valor de 7 que implicaba efectos de la parte escalar.

La posible variación de  $G$  debe poder relacionarse con la del Universo y según los valores de expansión de éste, el efecto de la variación de  $G$  es lo suficientemente pequeño para despreciarlo sobre cálculos relativos al sistema solar, ya que es menor que el error experimental. Pero con los valores de oblatez del sol parecía ratificarse su teoría. Entre 1962 (año de la propuesta de Brans-Dicke) y 1975 hubo un gran número de trabajos sobre esta teoría.

Con la propuesta de Dicke, los resultados experimentales de la curvatura de la luz y el retraso temporal según la prueba de Shapiro, implicaban un valor de  $\omega$  mayor de 500, lo que hacía ambas teorías prácticamente iguales. Con este valor, el problema del perihelio de Mercurio también inhabilitaba la teoría de Brans-Dicke y a partir de los años 80 esta teoría se desechó, entre otras cosas porque la relatividad general era más simple, dando cuenta experimental de los mismos hechos que con la teoría de Brans-Dicke con un factor  $\omega \approx 500$ .

En España las aproximaciones a la teoría de Brans-Dicke fueron más bien de tipo divulgativo e informativo, hasta que a principios de los años 80 José María Cerveró y Pilar García, como hemos visto, iniciaron una labor investigadora sobre dicha teoría, de ahí la importancia de esta contribución de los físicos españoles mencionados.

#### 5.4. LOS PRIMEROS ENCUENTROS RELATIVISTAS ESPAÑOLES, ASAMBLEAS NACIONALES DE ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA Y OTRAS JORNADAS SOBRE RELATIVIDAD

En la consolidación de la relatividad en España como disciplina investigadora tuvieron un papel fundamental la celebración de congresos específicos, en concreto los *Encuentros Relativistas Españoles* y, en menor medida, las *Asambleas Nacionales de Astronomía y Astrofísica*, así como otras jornadas sobre relatividad, como la celebrada en 1979 en la Academia de Ciencias de Madrid.

En Mayo de 1976 Lluís Bel fue invitado por Lluís Mas a impartir un curso sobre Mecánica Relativista Predictiva en la Universidad Autónoma de Barcelona. A raíz de este curso, al que asistieron la mayoría de jóvenes licenciados españoles interesados en relatividad, se planteó realizar una reunión anual entre los relativistas españoles, lo que daría origen al primero de los *Encuentros Relativistas Españoles* celebrado en 1977 en la Universidad Autónoma de Madrid, con la intención, como así fue, de consolidar dichos encuentros como eventos anuales para dar a conocer las investigaciones recientes realizadas en España sobre relatividad y que sirviera de punto de encuentro de esta disciplina de la Física. Pero parece que los primeros "encuentros" no tuvieron un carácter de congresos como tales, sino más bien coloquios informales en los que cada participante exponía las líneas de trabajo en las que estaban investigando.<sup>1</sup> De hecho hasta 1982 no hubo actas de dichos encuentros, en concreto en el celebrado en Bilbao, donde de dichas actas sí se puede concluir que es un congreso consolidado, con multitud de contribuciones interesantes, que reflejan la buena marcha de la labor investigadora sobre relatividad en España. Lamentablemente no hay actas ni información disponible de los ERE's de los años anteriores.

Este es el motivo por el que, a pesar de que el objeto indicado de esta tesis abarca hasta 1979, por considerar que en esa década ya estaba asentada la relatividad como campo de investigación en España, a continuación sintetizo los principales temas tratados en los primeros ERE's de los que hay actas, para situarnos así en las líneas de investigación sobre relatividad por esos años en nuestro país.

En el ERE de 1982, realizado en Bilbao, los participantes españoles que presentaron comunicaciones fueron los siguientes: Ramón Lapiedra, Carles Bona, Lluís Bel, Enrique Verdaguer, Joaquín Olivert, Luis Martínez, Montserrat Novell, Javier Chinea, Xabier Barcons, Joaquín Díaz-Alonso, Bartolomé Coll, Francesc Comellas, Vicente Iranzo, Francesc Márquez, Eduardo Salvador, José F. Pascual-Sánchez y Jesús Ibañez. Los seis primeros, como sabemos, ya fueron protagonistas del inicio de la labor investigadora sobre relatividad en España en la década de los setenta. Por lo tanto se comprueba el aumento significativo de investigadores sobre relatividad.<sup>2</sup>

Se trataron aspectos de mecánica relativista predictiva, radiación gravitacional en sistemas binarios, lentes gravitacionales, el problema de la rigidez en relatividad

---

<sup>1</sup> Según información privada suministrada por Lluís Bel.

<sup>2</sup> *Actas de los Encuentros Relativistas 82* (1982, Bilbao), Universidad del País Vasco, 1983.

especial, soluciones de las ecuaciones de Einstein, plasma relativista y estrellas densas, así como teorías gauge de la gravedad.

En el *ERE* de 1983, celebrado en Palma de Mallorca, se da una mayor presencia de ponentes extranjeros, repiten algunos de nuestros protagonistas y aumentan también las comunicaciones de nuevos científicos españoles dedicados a la relatividad. Se tratan de nuevo aspectos de ondas gravitacionales, física de plasmas relativistas, efectos relativistas en sistemas binarios, así como las ecuaciones de Maxwell en relatividad general, problemas interactivos en relatividad, métricas espacio-temporales como la de Kerr, modelos cosmológicos basados en la radiación de fondo y otros problemas concretos.<sup>3</sup>

En el de 1984 celebrado en Santander, considero que merece destacar una comunicación específica sobre agujeros negros, a cargo de Diego Pavón, otra sobre "Posibilidades instrumentales para la Astrofísica observacional en España" (Teodoro Roca), así como el estudio de diferentes tensores de energía-impulso (J. Carot y Jesús Ibañez).<sup>4</sup>

Por último, recordemos que el *ERE* de 1998 se celebró en homenaje a Lluís Bel dedicándose algunas comunicaciones a sus aportaciones, en especial al tensor que lleva su nombre.

#### *Asambleas Nacionales de Astronomía y Astrofísica*

Para el desarrollo de la Astrofísica en España fue fundamental la creación, en 1975, del *Instituto Astrofísico de Canarias*. Es evidente la relación entre este hecho y la celebración de la primera *Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica* en septiembre de 1975 en Tenerife. En este primer congreso, en la parte de astronomía, la mayoría de las comunicaciones fueron sobre mecánica celeste, cálculos perturbativos, cálculos de órbitas, etc, todo en el marco de la física clásica no relativista (que es la más útil en la mayoría de los casos ya que no es necesario considerar los efectos relativistas), también sobre astronáutica (movimientos y órbitas de satélites), estrellas dobles visuales, sistemas estelares, problemas de los tres cuerpos y los N-cuerpos, catalogación de estrellas y tipos, astronomía de posición, teoría de sistemas cronográficos.

En la parte de astrofísica de este primer congreso, la mayoría de las comunicaciones fueron sobre fotometría, espectrofotometría, observación de infrarrojos, etc. Destaca el que se trabajara sobre análisis del espectro de *Beta-Lyrae*, del que ya vimos su importancia para la astrofísica relativista, con tres comunicaciones sobre este asunto. También cabe señalar las diferentes contribuciones que destacaban la importancia del efecto Zeeman en astrofísica, así como la trascendencia de la radioastronomía en la investigación de esos años, donde se significó la posibilidad de usar la estación de seguimiento de satélites del INTA-NASA sita en Robledo de Chavela para este

---

<sup>3</sup> *Actas de los E.R.E 1983* (Palma de Mallorca), Universitat de Palma de Mallorca, 1984.

<sup>4</sup> *Actas de los Encuentros Relativistas 84, (1984:Santander)*, Secretariado de Publicaciones, Universidad de Valencia, 1985.



cometido. En la segunda asamblea de 1976 ya se presentaron trabajos sobre observaciones radioastronómicas realizadas desde el observatorio de Yebes.

En concreto, sobre temas directamente relacionados con relatividad, aunque hubo pocas contribuciones en este primer congreso, es interesante el rumbo que tomaba la investigación astronómica y astrofísica en este sentido, con cuatro comunicaciones al respecto. Juan Ciudad Platero y Álvaro López García (del Observatorio Astronómico de la Universidad de Barcelona) presentaron una comunicación sobre “Evolución dinámico-cosmológica del sistema tierra-luna”<sup>5</sup> en la que plantean las ecuaciones diferenciales que rigen la evolución temporal del radio de la órbita lunar y de la velocidad angular de la tierra con una serie de consideraciones. Éstas son relativas a la interacción de las mareas, posibilidad de variación del momento de inercia de la Tierra con la edad geológica, de no conservación del momento angular del sistema Tierra-Luna y la posibilidad de la variación de la constante de gravitación con la edad del universo, de acuerdo a algunas hipótesis como la del modelo cosmológico de Dirac-Jordan (análoga a su vez al modelo propuesto por Brans-Dicke, en la que  $G$  decrece muy lentamente con el tiempo, es decir  $G = k/T$ ). La propuesta es contrastar los datos conocidos con el comportamiento de las soluciones al integrar las ecuaciones obtenidas. Concluyen que los resultados, respecto al pasado, se podrían adecuar al caso de  $G$  variable, ya que con la hipótesis de  $G$  constante se obtiene peor concordancia. Evidentemente estos resultados dependen de las condiciones iniciales del sistema Tierra-Luna, que se basan en dos tipos de propuestas: las que consideran a la Luna desprendida de la Tierra, y las que sostienen que la Tierra y la Luna se formaron por separado.

Ramón Canal (del departamento de Física de la Tierra y del Cosmos de la Universidad de Barcelona) presentó dos comunicaciones, una sobre colapsos estelares<sup>6</sup> y otra sobre estrellas de neutrones.<sup>7</sup> En el primer trabajo. “Colapsos y explosiones estelares, rayos cósmicos y nucleosíntesis”, Canal plantea la paradoja de la posibilidad de un colapso estelar y posterior explosión, paradoja que se resolvió con la estadística de Fermi-Dirac al aplicarla al estudio de los gases fuertemente degenerados, también conocidos como degenerados que han superado el límite no relativista. Para estos casos, en el cálculo del límite de las enanas blancas para su colapso y evolución a estrella de neutrones, hay que incluir los efectos de la relatividad general.

En la segunda comunicación, “Estrellas de neutrones en sistemas estelares dobles”, resume los cálculos realizados por él mismo y Schatzman sobre enanas blancas, analizadas por espectro de rayos X, aunque para los cálculos hidrodinámicos se hace

---

<sup>5</sup> Juan Ciudad Platero y Álvaro López García, “evolución dinámico-cosmológica del sistema tierra-luna”, *1ª Asamblea de astronomía y astrofísica. Comunicaciones, Tenerife del 8 al 13 de septiembre de 1975*, Instituto Universitario de Astrofísica de la Universidad de la Laguna, 1976, p 93-101.

<sup>6</sup> Ramón Canal, “Colapsos y explosiones estelares, rayos cósmicos y nucleosíntesis”, *1ª Asamblea de astronomía y astrofísica. Comunicaciones, Tenerife del 8 al 13 de septiembre de 1975*, Instituto Universitario de Astrofísica de la Universidad de la Laguna, 1976, p 739-751.

<sup>7</sup> Ramón Canal, “Estrellas de neutrones en sistemas estelares dobles” *1ª Asamblea de astronomía y astrofísica. Comunicaciones, Tenerife del 8 al 13 de septiembre de 1975*, Instituto Universitario de Astrofísica de la Universidad de la Laguna, 1976, p 823-826.

necesario incluir los efectos de la relatividad general, lo que llevaría a cabo, junto con Schatzman, en 1976<sup>8</sup>.

Teodoro Roca, también del mismo departamento que su colega Ramón Canal, presentó una comunicación sobre explosiones estelares.<sup>9</sup> Se basa en la teoría por la cual la explosión de una supernova, en determinadas circunstancias, deja como residuo un objeto que evoluciona hacia una estrella de neutrones que, a su vez, es previsible evolucione hasta un púlsar. De esta teoría resulta la importancia de estudiar mecanismos de explosión mediante métodos de cálculo de modelos de supernovas. Estos métodos se pueden tratar desde el punto de vista de la hidrodinámica de la explosión, basándose en núcleos altamente degenerados correspondientes a enanas blancas. Para ello se deben integrar las ecuaciones de equilibrio hidrostático en simetría esférica con correcciones relativistas (ya planteado anteriormente por Oppenheimer y Volkov). Estas correcciones relativistas son necesarias por la alta degeneración del gas de electrones. En el trabajo, Teodoro Roca resuelve las ecuaciones de forma analítica, obteniendo unos resultados en función de las condiciones termodinámicas.

En la segunda asamblea, celebrada en 1977, (Comisión Nacional De Astronomía, *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica, 12-16 Diciembre 1977, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz*) hubo varias comunicaciones sobre condiciones de creación de púlsares y análisis de datos de diferentes catálogos de este tipo de cuerpos,<sup>10</sup> así como otras contribuciones en las que se trataron aspectos sobre relatividad.

El ya citado Ramón Canal presentó un trabajo titulado, “Hidrodinámica post-newtoniana de un colapso estelar” (Tomo II, pag 439 a 442) en el que considera que el fenómeno de la transición de una enana blanca a una estrella de neutrones puede estudiarse en el marco de la aproximación postnewtoniana de la hidrodinámica relativista<sup>11</sup> (aproximación que fue establecida en 1965 por Chandrasekhar). Planteó las ecuaciones de un modelo estelar en equilibrio hidrostático pero muy próximo a la masa límite para que se produzca el colapso. Partiendo de este modelo puede construirse, por adicción de masa a cada una de su capas, un modelo inestable. Cuando los parámetros de este modelo se introducen en las ecuaciones diferenciales obtenidas como condiciones iniciales entonces dicho modelo colapsa. Para el estudio de estos fenómenos se deben incluir análisis de problemas que están en el límite de la investigación del momento (como cuestiones de teoría cuántica de los N cuerpos, física del estado sólido, física nuclear). Refiere Canal el inicio de una colaboración

<sup>8</sup> Ramón Canal y Schatzman, “Non explosive collapse of white-dwarfs”, *Astronomy and Astrophysics*, v 46 (2), 1976, p 229-235.

<sup>9</sup> Teodoro Roca, “Explosiones en núcleos estelares degenerados”, *1ª asamblea de astronomía y astrofísica. Comunicaciones, Tenerife del 8 al 13 de septiembre de 1975*, Instituto Universitario de Astrofísica de la Universidad de la Laguna, 1976, p 803-815.

<sup>10</sup> R. Canal y J.Isern, “Explosiones estelares”, *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica, 1977, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz*, Tomo II, pag 443 a 446; R. Canal, “Discos de captura en torno a objetos colapsados” (Tomo II, p. 447-450); Javier Labay (Univ Barcelona) “Procesos neutrínicos y evolución de núcleos estelares degenerados” (Tomo II, p. 451 a 458).

<sup>11</sup> Ramón Canal “Hidrodinámica post-newtoniana de un colapso estelar”, *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica, 1977, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz*, Tomo II, pag 439 a 442.

internacional para cubrir este tipo de problemas con el objeto de estudiar la formación de los púlsares, el origen de las fuentes compactas de rayos X.

En este segundo congreso, Luis Casasús Latorre (del Instituto Astrofísico de Canarias), presentó una ponencia denominada "Trayectorias de fotones y homogeneidad del universo"<sup>12</sup>. Plantea que, en principio, las cosmologías relativistas contemplan un universo homogéneo e isótropo, pero aquí va a incluir la posibilidad de cierta anisotropía e inhomogeneidad. Resuelve las ecuaciones de las geodésicas para la métrica de Robertson Walker, de esta forma se describen las trayectorias de los fotones que llegan radialmente a un observador no situado en el origen, obteniéndose unas desviaciones respecto de los resultados previstos. Esto implica que la métrica de Robertson Walker tiene algunas limitaciones y propone Casasús una métrica alternativa para un universo en expansión no completamente homogénea que, como caso límite en el supuesto de homogeneidad, sería la propia métrica de Robertson-Walker.

Otra comunicación interesante fue la de Mariano Moles Villamate (perteneciente al *Institut Henri Poincaré, Laboratoire de Physique théorique*, CNRS, Paris) sobre el estado de la cosmología observacional en esos años<sup>13</sup>. Según nos informa Moles, de los diferentes modelos cosmológicos relativistas propuestos, se pensó que, en principio, al determinar mediante observaciones los diferentes parámetros asociados a dichos modelos, se podría concluir sobre la bondad de algunos de ellos. Pero a mediados de los setenta todavía no se había podido determinar con suficiente precisión dichos parámetros. Además, para añadir más confusión al estado de la cuestión se han dado diferentes valores para la constante de Hubble e incluso se ha llegado a dudar de la constancia de dicho valor.

Según Moles, la cosmología moderna se propone explicar tres hechos observacionales:

- El desplazamiento hacia el rojo del espectro de las galaxias
- El fondo de radiación isótropa de cuerpo negro
- La abundancia de diferentes elementos químicos, problema ligado a la formación y evolución de las galaxias.

Aceptando la homogeneidad e isotropía del universo, hay que abordar el problema cosmológico con las herramientas ofrecidas por la relatividad general, que constituye, para Moles "la mejor teoría de la gravitación de que disponemos".

Las soluciones de las ecuaciones de Einstein en base a la métrica de Robertson-Walker se expresan en función de una serie de parámetros, como la constante de Hubble  $H_0$ , el factor de desaceleración  $q_0$ , o la densidad media del universo, referidos al momento actual. Para Moles, el hecho de que los datos observacionales den

---

<sup>12</sup> Luis Casasús Latorre "Trayectorias de fotones y homogeneidad del universo", *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, 1977, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz, Tomo II, pag 541 a 548.

<sup>13</sup> Mariano Moles Villamate, "Situación actual en cosmología observacional", *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, 1977, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz, Tomo II, pags. 549-555.

resultados contradictorios apunta a replantearse hipótesis de partida como la isotropía y homogeneidad del universo.

En otra ponencia, Moles también se refirió a las recientes controversias sobre desplazamientos al rojo no interpretables en base al efecto Doppler (por irregularidades en la ley de Hubble, por posible materia interestelares que afecte a la luz lejana, o por propiedades físicas de los objetos extragalácticos).<sup>14</sup>

Tres miembros del *Instituto de Astrofísica de Andalucía* pertenecientes a la Universidad de Granada, A. Molina, E. Battaner y JM Quintana, presentaron una comunicación sobre la posibilidad de detección de ondas gravitacionales, en concreto sobre la aparición de oscilaciones en la intensidad de emisión de una radiofuente concreta, observada durante dos años, lo que indujo a pensar que eran debidas a ondas gravitatorias.<sup>15</sup>

*Conmemoración del centenario de Einstein en la R. Acad. Ciencias de Madrid de Madrid, 1979.*

Para acabar con este capítulo es obligado citar el conjunto de conferencias que se impartieron en la Academia de Ciencias de Madrid con motivo del centenario de Einstein, en 1979. No sólo tiene un alto valor simbólico, ya que fue principalmente en la revista de esta academia donde Palacios publicó la mayoría de sus trabajos antirrelativistas, sino que se trataron temas novedosos, como vamos a ver.<sup>16</sup>

La conferencia inaugural estuvo a cargo de A. Duran, en la que destaca el repaso a la anterior visita de Einstein a la Academia en 1923. Hubo otras siete más, de las cuales cuatro están relacionadas con la relatividad y son las siguientes:

M. Lorente Páramo, “La teoría de la relatividad, nuevo paradigma de la ciencia”;

Alberto Galindo, “Agujeros negros: dinámica clásica, muerte cuántica”;

Federico Goded, “Cosmologías relativistas y algunas de sus implicaciones filosóficas”;

Darío Maravall, “El espacio y el tiempo antes y después de Einstein”.

La más interesante en cuanto a novedad científica en España es la de Galindo, quien posteriormente editaría una obra completa dedicada a los agujeros negros<sup>17</sup>. La conferencia de Lorente Páramo hay que enmarcarla más en el marco filosófico que en el científico, ya que es una interpretación kuhniana de la relatividad como nuevo paradigma. Las de Goded y Maravall, siendo también muy instructivas, no aportan nada novedoso sobre lo tratado anteriormente en nuestro país. Sólo destacar la

---

<sup>14</sup> Mariano Moles Villamate, “Sobre la existencia de desplazamientos hacia el rojo anormales”, *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica, 1977*, Tomo II, p. 681-688.

<sup>15</sup> A. Molina, E. Battaner, JM Quintana, “Dependencia estacional de las ondas de gravedad y su posible implicación con la anomalía invernal”, *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica, 1977*, II, p. 749-752.

<sup>16</sup> *Conmemoración del centenario de Einstein. Curso de conferencias desarrolladas durante los meses de marzo a mayo de 1979*, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 1979 (2ª edición 1987).

importancia que da Maravall a los principios de mínimo y al hecho de que las transformaciones de Lorentz son un subconjunto de unas más generales, deducidas de imponer la condición de invariancia a la ecuación de Klein-Gordon. Ejemplos de aplicación de principios de mínimo son la obtención de las geodésicas al hacer mínima la integral de los diferentes elementos de línea que se puedan considerar según la métrica establecida. Maravall opina que se puede desarrollar la dinámica relativista en base a principios de mínimo,<sup>18</sup> lo que permite aplicar a la relatividad el formalismo de la dinámica analítica (ecuaciones de Lagrange y canónicas de Hamilton).

En cuanto a la comunicación de Galindo, la importancia teórica de estos objetos reside, según dicho autor, en que

[...] parece(n) unir, por vez primera, ramas tan diversas como la gravitación, la termodinámica, y los principios cuánticos. Pero el determinismo en que Einstein tanta fe depositó se ve seriamente afectado por la posible existencia de estos agujeros negros: su radiación cuántica constituye una intensa fuente de aleatoriedad que hace quimérica la predictibilidad. La censura cósmica es así cuánticamente transgredida y un principio de ignorancia parece imponerse.<sup>19</sup>

Al repasar los fundamentos de la relatividad general hay que considerar varios aspectos que tendrán relación con la teoría de los agujeros negros:

- El hecho de que las ecuaciones de campo de Einstein son altamente no lineales, lo que implica una autointeracción gravitacional debida a que el campo gravitatorio, al estar dotado de energía, es fuente de sí mismo.
- En las métricas posibles, como la de Schwarzschild o la de Kerr, hay que considerar las singularidades en el elemento de línea, singularidades que implican una división en dos regiones del universo, exteriores e interiores. Los lugares engendrados por geodésicas radiales representan lo que se denomina horizontes de sucesos.

Calculando las ecuaciones para los casos en que se producen singularidades se puede establecer unas sorprendentes propiedades gravitacionales de las soluciones propuestas, lo que se conoce como colapso gravitacional. Galindo detalla los diferentes modelos de colapso gravitacional para analizar los diferentes procedimientos para la posible identificación experimental de candidatos a Agujeros Negros, basados en la moderna astronomía de rayos X (realmente son datos muy recientes, desde 1973 a 1978).

Otro campo de gran impacto es el estudio termodinámico de los Agujeros Negros, que implica la consideración de los efectos cuánticos en relatividad general, efectos que siempre se pensó eran despreciables. Fue Stephen Hawking en 1974 quien logró

---

<sup>17</sup> Galindo Tixaire, Alberto ; "Colapso gravitacional y agujeros negros" en *Soluciones exactas en relatividad general. Colapso gravitacional y agujeros negros*, Editorial Universidad Complutense, Madrid, 1983.

<sup>18</sup> Lo que desarrolla en detalle en Maravall, "Sobre los principios de mínimo de la electrodinámica y de la mecánica clásica y relativista", *Revista R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1978.

<sup>19</sup> Alberto Galindo, "Agujeros negros: dinámica clásica, muerte cuántica", *Conmemoración del centenario de Einstein*, R. Acad. Ciencias Madrid, Madrid, 1979 (2ª edición 1987, p. 59).

demostrar la realidad de dichos efectos, “en uno de esos raros trabajos que hacen historia”. La conclusión de Galindo, como siempre en sus textos, es brillante:

Desgraciadamente [Einstein] murió sin saber que su obra magna, la RG, teoría continua y determinista de campos por antonomasia, en conjunto con las leyes termodinámicas, albergaba en su seno la posibilidad de intensas fuentes de aleatoriedad, los AN's. Su existencia podía significar el derrumbamiento de la predictibilidad, del determinismo en que tanta fe depositó.

La inevitabilidad de seguridades en RG, consecuencia del principio de equivalencia y la positividad local de la energía, podría tener un remedio egoísta aceptando la hipótesis de la censura cósmica, que, al vestirlas con un horizonte y transformarlas en AN's, nos impediría a los observadores externos contemplar esa crisis, haciendo posible al menos la predictibilidad asintótica, ya que no la postdictibilidad (teorema del “pelo”). Sin embargo, hemos visto que la desaparición de entropía (finita por la atomicidad de la materia) dentro de los AN's exige termodinámicamente una temperatura no nula para éstos, y los cálculos cuánticos de Hawking lo corroboran explícitamente. Según esos cálculos, los AN's son radiadores de energía con espectro térmico totalmente aleatorio e incoherente. El horizonte del AN borra todas las fases relativas de las distintas amplitudes de emisión. Cada configuración de partícula, compatible con la conservación de masa, momento angular y carga, tiene igual probabilidad de emisión (aunque la de escape se halle modificada por la influencia específica de la barrera alrededor del horizonte sobre cada modo de emisión). En otras palabras, sobre el interior del horizonte, para el observador externo, rige el *principio de ignorancia* (Hawking 1976). Este principio va más allá del de Heisenberg, pues no se reduce a negar la posibilidad del conocimiento simultáneo de magnitudes canónicamente conjugadas. Niega la de ambas a la vez, para sistemas más allá del horizonte. La radiancia cuántica de los AN nos devuelve con creces la entropía perdida en su formación: el AN ha degradado al máximo su contenido energético.

El afán de predictibilidad resulta así quimérico. La radiación por el AN viola la hipótesis de la censura cósmica, no sólo porque tras la evaporación total puede quedar al aire una singularidad desnuda (p.e. con  $M < 0$ ), sino porque ya antes, en su fase de evaporación, permite “contemplar” la singularidad interior, a través de sus efectos aleatorios.

Por todo esto “Dios no sólo juega a los dados, sino que a veces los arroja donde no pueden verse”.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Galindo, *Ibídem*, p. 82.



## **6. CONCLUSIONES**

En este capítulo, a modo de conclusiones, se ofrece una síntesis de los principales hitos en el tratamiento de la relatividad por la ciencia española, dando preeminencia a los aspectos originales del mismo. Posteriormente, en el segundo apartado, realizo unas consideraciones personales sobre diferentes aspectos tratados a lo largo del texto, opiniones que son consecuencia del análisis de las fuentes originales (bibliografía primaria, desde 1905 hasta 1979) sobre las que he trabajado.

### **6.1. PRINCIPALES HITOS EN EL TRATAMIENTO DE LA RELATIVIDAD POR LA CIENCIA ESPAÑOLA**

Las primeras referencias explícitas sobre la Teoría de la Relatividad de Einstein en España son dos discursos de Blas Cabrera y Esteban Terradas, en 1908 durante la celebración de un congreso de la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*. En esta fecha nuestros protagonistas todavía tenían una interpretación incompleta del principio de relatividad en su completo significado, al considerarlo como un principio exclusivo de la electrodinámica y no como válido para todas las leyes de la Física.

Anteriormente ya hubo en España referencias sobre el estado de la crisis de la física, así como sobre las ideas de Poincaré sobre la relatividad del espacio y el tiempo. En este sentido son significativas las de Echegaray en 1903 y 1905, donde valora de forma ambigua las ideas de Poincaré expuestas en 1902 en *La Science et l'hypothèse*. En cualquier caso, Echegaray se mantendría fiel a los postulados de la física clásica. También es representativa la temprana publicación en España de obras clave de Poincaré, como *El valor de la ciencia* en 1906, donde se describe el principio de relatividad, la idea de tiempo local, la contracción de los cuerpos y la variación de la masa con la velocidad. Otra contribución interesante, previa a las de Terradas y Cabrera citadas, es la de Pérez del Pulgar en 1907, al aplicar las geometrías no euclídeas a la mecánica. Este intento, aun sin citar la relatividad de Einstein (aunque sí la de Poincaré), anticipa algunos aspectos de la teoría del primero, al establecer la necesidad de modificar las leyes de acción, como la gravitatoria, en el marco de una geometría riemanniana, independientemente de que tuviera sentido físico o no.

En 1909 y 1910 se realizan reseñas en *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, conocidas como "Notas alemanas de física", donde se citan novedades sobre la teoría de Einstein. Destacan las reseñas de conferencias de Einstein sobre la relatividad restringida y de Sommerfeld sobre la composición relativista de velocidades.

En 1909 Terradas realiza un desarrollo matemático bastante riguroso de la relatividad, aunque todavía con la limitación anteriormente indicada. En 1912 presenta la primera exposición completa de la relatividad de Einstein, asumiéndola en toda su significación, como principio tanto electrodinámico como cinemático, incluyendo el abandono de la hipótesis del éter. En este sentido Terradas es el primero que interpreta correctamente la teoría de Einstein.



Blas Cabrera es un ejemplo esclarecedor del proceso de asimilación de la relatividad, y de las resistencias a abandonar el éter, que mantiene todavía hasta 1917 con su obra *Qué es la electricidad* (1917). A lo largo de 1912 y 1913 publica una serie de artículos bajo el título “Principios fundamentales del análisis vectorial en el espacio de tres dimensiones y en el Universo de Minkowski”. En 1921 imparte unas conferencias, publicadas como *La teoría de la relatividad*, donde ya interpreta correctamente la relatividad einsteniana. Este mismo año comienza desautorizar a los antirrelativistas, de los que afirma mantienen sus concepciones por un problema de inercia intelectual. En 1923 se publica una obra de Cabrera clave en la literatura relativista española, *Principio de relatividad*, que destaca por su carácter completo, tanto desde el punto de vista físico como matemático, así como por tratar el desarrollo histórico de la misma, sus bases experimentales y sus implicaciones conceptuales y filosóficas. Además, es innovador el carácter pedagógico de la exposición.

El matemático José María Plans presentó en 1919, a la Academia de Ciencias de Madrid, *Nociones fundamentales de Mecánica relativista*, obra premiada y publicada en 1921. Esta contribución de Plans marca otro de los hitos de la relatividad en España, al tratar de forma completa los aspectos matemáticos de la relatividad, con sus correspondientes demostraciones y con originalidad en la aplicación de casos concretos. Entre otros, destaca la demostración del carácter de grupo de las transformaciones de Lorentz, la interpretación como rotación entre sistemas de coordenadas en la geometría de Lobachevski, su justificación de la necesidad del cálculo tensorial, la aplicación al electromagnetismo, la modificación de las ecuaciones de la mecánica analítica (obteniendo las ecuaciones de Lagrange y canónicas de Hamilton en el marco relativista), un desarrollo básico de la relatividad general y el cálculo de la variación del perihelio de los planetas y de la deflexión de los rayos luminosos.

Antes, en 1918, Plans presentó un trabajo en la Academia de Zaragoza en el que demuestra que la solución de la ecuación de movimiento en mecánica relativista se corresponde con trayectorias hiperbólicas. En 1920 publica otro artículo en *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, donde desarrolla una forma original de calcular el ángulo de desviación de los rayos luminosos, obteniendo la misma expresión que Einstein, aunque en sí tampoco es una aportación teórica que pudiera trascender.

En 1924 Plans publica una obra completa sobre *Nociones de cálculo diferencial absoluto y sus aplicaciones*, que supone la introducción en España de esta herramienta matemática, desarrollando además las aplicaciones concretas en relatividad general e incluyendo las recientes teorías unitarias de Weyl y Eddington.

También hay que destacar el riguroso y certero análisis de Pedro Carrasco sobre los resultados del famoso eclipse de 1919, que corroborarían la relatividad general. Este trabajo apareció en 1920 en *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* Igualmente interesante es el análisis detallado, por parte de Enrique de Rafael en el congreso de la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias* de 1921, de los resultados de diferentes experimentos del tipo Michelson. En este sentido hay que recordar que en esos años Martínez-Risco destacó en España como especialista en fenómenos de interferometría. También son importantes las diferentes referencias de Cabrera y Plans

sobre las pruebas experimentales de la relatividad, especialmente las de Plans, en *Ibérica* en 1920 y 1927, sobre la repetición del experimento de Michelson por parte de Miller, que introdujo un cierto nivel de debate sobre la validez experimental de la teoría einsteniana.

En mi opinión, otro hito importante es el extraordinario trabajo del astrónomo Luis Rodés, “La espectroscopia, llave de la astronomía moderna”, correspondiente a una conferencia impartida en 1922 en la Academia de Barcelona, donde refiere sus trabajos de 1918 en Estados Unidos para intentar medir el corrimiento espectral al rojo predicho por la relatividad general. Aunque dicha prueba no dio resultados positivos por la complejidad del proceso de medida, el texto de Rodés aporta interesantes aspectos sobre espectrografía astronómica para comprobación de teorías como la relatividad.

Otro trabajo fundamental de nuestra historia es el del matemático Pedro Puig Adam, *Resolución de algunos problemas elementales en mecánica relativista restringida* (1922), donde estudia problemas de tipos de movimientos concretos en la nueva teoría, como la curva braquistócrona, movimientos de una partícula sobre circunferencias o superficies esféricas. Se podría considerar este trabajo de Puig Adam, que se corresponde con su tesis doctoral dirigida por Plans, como una aportación original de la matemática española, aunque hay que matizar que, más que a la relatividad como teoría física, lo es respecto a la aplicación matemática de casos concretos. También son interesantes otros trabajos de dirección de Plans, como el de Fernando Peña sobre geometrización del electromagnetismo en 1926 o el de Mari Carmen Martínez en 1927, sobre los espacios de Bianchi, con aplicaciones al estudio de la relatividad general.

Sobre contribuciones originales en la época de recepción cabe destacar la denominada relatividad elíptica de José Isaac Corral, aparecida en la Academia de Ciencias de Madrid en 1929 con el título *Mecánica no-newtoniana de tipo elíptico*. Es un estudio teórico, sin intentar extraer consecuencias de tipo físico, en el que construye una nueva mecánica relativista restringida, basándose en la geometría riemanniana o elíptica, al contrario que la de Einstein que era de tipo hiperbólico (geometría de Lobachevski-Bolyai). Recordemos que Einstein aplicó la geometría de Riemann en la relatividad general, pero no en la especial. Plantea Corral unas nuevas ecuaciones de transformación, concluyendo algunos resultados coincidentes con la teoría de Einstein. Es necesario aclarar que no es una postura antirrelativista, ni alternativa a la de Einstein como teoría con significado físico, sino simplemente alternativa desde el punto de vista matemático como mero instrumento, de hecho defiende la de Einstein como más acorde con los hechos experimentales.

Como sabemos, el viaje de Einstein en 1923 fue determinante en cuanto a la “explosión” bibliográfica sobre relatividad en España, tanto de extranjeros (como el propio Einstein) como españoles, no sólo científicos sino también intelectuales. En este sentido cabe señalar los abundantes libros de divulgación sobre relatividad publicados en nuestro país. Pero en mi opinión, lo más interesante del viaje de Einstein fueron las conferencias y reuniones científicas, donde se plantearon a Einstein, por parte de algunos científicos españoles, algunas dificultades establecidas

con rigor. Por ejemplo la de Enrique de Rafael sobre el problema de la rotación en relatividad, relacionado con la rigidez de los cuerpos, o la de Burgaleta sobre la posibilidad teórica de superar la velocidad de la luz, según algunas soluciones de la ecuación de propagación de ondas en relatividad.

En cuanto a posicionamientos antirrelativistas destacó el astrónomo Comas Solá, defensor de la teoría emisiva o “balística” de la luz, así como Felix Apraiz y Horacio Bentabol. Pero más interesantes son las posturas ambiguas que, aceptando la relatividad, se niegan a abandonar la idea del éter, como las de Cañas y Bonvi en 1915, Fernando Tallada en 1929 o Pedro Carrasco con su obra *Filosofía de la mecánica*. También resultan enriquecedoras, por su intento de aportar alternativas en parte coincidentes con la relatividad, las teorías de Pérez del Pulgar y Emilio Herrera. Pérez del Pulgar en principio aceptaba la relatividad, salvo el postulado de la constancia de la velocidad de la luz. Se basaba en las diferentes hipótesis sobre el problema de la velocidad de la emisión de una onda luminosa respecto del foco emisor. Sugirió en 1925 una nueva teoría en la que la velocidad de la luz, cuando el foco está movimiento, tiende asintóticamente a  $c$ , pero en el instante inicial participa del movimiento del foco. La de Emilio Herrera, planteada inicialmente en 1916 y completada en 1934, considera un universo de cuatro dimensiones espaciales, en el que no descarta el éter como medio por el que interactúan los cuerpos, y cuyas propiedades se explican por la rotación del universo que genera un factor de tensión en el éter. Con los cálculos asociados a dicha tensión se explican muchos de los fenómenos de la relatividad.

Después de la Guerra Civil, aunque es cierto que durante bastante tiempo (hasta finales de los años sesenta), no hubo una labor investigadora de conjunto sobre relatividad, aunque sí a nivel individual como casos aislados, considero que hay algunos hitos importantes en cuanto al tratamiento de la misma. Son los siguientes:

- Las primeras aproximaciones por parte de Foz en 1941 a la teoría de Dirac y también sobre los resultados relativos a la materialización de la energía y basados en consideraciones cuantico-relativistas, que implicaron la predicción del positrón.
- El análisis histórico del ingeniero Gutiérrez en 1943 sobre el desarrollo de la teoría de Dirac, profundizando en los aspectos conceptuales y matemáticos.
- Los estudios teóricos de Ortiz Fornaguera, primero en 1948 sobre la teoría cuántica del campo electromagnético, en la que hay que contemplar las correcciones relativistas, y después en 1952 al plantear el comportamiento de las hipersuperficies espaciales del espacio-tiempo en la formulación invariante de la teoría de campos. También en 1948 Ortiz Fornaguera propuso, mediante el cálculo tensorial, una generalización y unificación de las leyes de conservación, en la que los principios conservativos de la relatividad general son un caso particular. En mi opinión, este trabajo de Ortiz, aparecido en *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* con el título “Densidades escalares y leyes de conservación” es de gran importancia en la historia que nos ocupa.
- El extraordinario libro de Terradas y Ortiz Fornaguera, *Relatividad* (1952). No es una obra de fácil lectura, pero aporta importantes novedades (no en cuanto a labor

investigadora, pero sí en el tratamiento de la relatividad). Analizan en rigor la prioridad sobre la relatividad entre Einstein, Lorentz y Poincaré, incluyendo la propuesta de transformaciones de Voigt en 1887, que establecían la invariancia de las ecuaciones de Maxwell; se aproximan al problema de la correcta interpretación del principio de relatividad; realizan un recorrido histórico por las pruebas experimentales asociadas al origen de la relatividad; detallan pruebas sobre la variación relativista de la masa; estudian el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton como aplicaciones de la relatividad; sobre relatividad general refieren en detalle las críticas de Milne y la teoría alternativa de Birkhoff; repasan las principales teorías cosmológicas relativistas y las teorías unitarias de campo; y, a modo de conclusión, realizan una interesante reflexión sobre la relatividad como teoría consolidada pero abierta. Por supuesto, tratan en profundidad el resto de cuestiones ya conocidas de la relatividad especial y general. En definitiva es una obra de referencia en la bibliografía española sobre relatividad.

- Sobre el tratamiento de las teorías unitarias de campo, son interesantes igualmente las aportaciones de Tharrats, con dos trabajos científicos aparecidos en *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* en 1953 y 1954, donde estudia la generalización del tensor métrico para incluir los potenciales gravitatorio y electromagnético.
- El caso del matemático e ingeniero Darío Maravall, como ejemplo de trabajo individual, no sujeto a las directrices seguidas por el entorno profesional de los investigadores en física, que desde 1950 publicó una serie de trabajos donde, combinando la relatividad especial con el principio de incertidumbre de Heisenberg, postula la cuantización del espacio y el tiempo. Esta idea le lleva sucesivamente, hasta 1955, a sugerir un modelo cosmológico en expansión (calculando parámetros como el tiempo de expansión del universo, el número de partículas y densidad del mismo) y una teoría unitaria en la que considera espacios curvos y en torsión. Ya en 1947 planteó el efecto de aberración de la gravedad, lo que le permite, en el marco relativista, calcular trayectorias de planetas. También trabajó, en 1951 y 1952, sobre soluciones de las ecuaciones de campo en simetría axial y en casos particulares de simetría esférica. Aunque su propuesta de cuantificación fue fallida por no corresponderse con los hechos experimentales, indudablemente su propuesta marca un hito en cuanto aportación original en España.
- El intento de Julio Palacios, desde 1955, de plantear una teoría de la relatividad, alternativa a la de Einstein, que salvara las concepciones clásicas del espacio y el tiempo. Paulatinamente radicalizó sus planteamientos, aunque aportó originalidad al tratamiento de la relatividad y enriqueció el debate sobre la misma, con una producción extensísima sobre el asunto. En ésta destaca su postura sobre la paradoja de los relojes que, aunque errónea, en absoluto es trivial. Dos obras son fundamentales en su trayectoria al respecto, *Análisis Dimensional* (1956), donde realiza un estudio dimensional de las diferentes disciplinas de la física, incluyendo la relatividad (con la que demuestra estar incómodo por cuestiones dimensionales pero no todavía contrario), y *Relatividad. Una nueva teoría* (1960). Palacios hará uso de su influencia para presentar a algunos autores extranjeros antirrelativistas y

dirigir trabajos en línea con su posicionamiento. Aun con todo, esta postura fue minoritaria entre los científicos españoles de la época, como he mostrado durante el desarrollo de este trabajo.

- El debate habido en España sobre la teoría de Palacios, protagonizado principalmente por Ortiz Fornaguera, en 1964 y 1965, con su intento de contrarrestarle de forma rigurosamente científica, denunciando algunas de las inconsistencias de la teoría de Palacios. También Ruiz de Gopegui, en 1964, valoró negativamente las precipitadas conclusiones de Palacios sobre un experimento que parecía refutar la relatividad, a cargo de Kantor. Por último, Francisco Morán en 1960 e Hipólito Peña en 1961 participaron en la controversia sobre la paradoja de los relojes, en defensa de la interpretación relativista.
- La postura del matemático Ricardo San Juan sobre los problemas dimensionales de la relatividad denunciados por Palacios, entre los que destaca la igualdad entre masa inercial y gravitatoria, según el principio de equivalencia de Einstein. Ya en 1946, en su obra *Teoría de las magnitudes físicas y sus fundamentos algebraicos*, San Juan aclaró que el problema dimensional respecto a dicha igualdad se daba en mecánica clásica, solucionándose precisamente con la relatividad general. Otras aportaciones interesantes en línea con el pensamiento de San Juan sobre cuestiones dimensionales y relacionadas con la relatividad son las de Luis Hurtado en 1943 y las de Clemente Sáenz en 1940 y 1953.
- El tratado de Luis María Garrido sobre cinemática cuántica relativista, del año 1958. El planteamiento del principio de relatividad es original, al considerar que la interacción entre dos puntos se produce mediante señales que se propagan con velocidad límite y que deben ser invariantes. Considera una variante de la teoría de transformaciones, en las que hay que contemplar la paridad del mundo físico, y que incluye las conocidas de Lorentz. Le vale esta idea para exponer la cinemática cuántica compatible con la relatividad especial, donde toman especial importancia dos hechos: la interacción entre las partículas mediante campos, ya que el concepto de cuerpo rígido no tiene sentido en relatividad, y el que en la física microscópica se requiera una nueva formulación de la teoría de la medida que contemple el carácter estadístico de la interacción.
- Sobre la electrodinámica relativista se dieron dos aportaciones interesantes, ambas de 1960: la de Mojena Díaz, al analizar el problema de la interacción de un campo electrostático sobre una radiación electromagnética (este análisis lo extiende también a la teoría cuántica del electromagnetismo, basándose en la teoría de Dirac); y la de Fernández Ferrer y Eduardo de Rafael sobre la electrodinámica no-lineal de Born-Infeld.
- En 1961, González-Cascón extendió a la mecánica relativista un desarrollo teórico de Garrido, basado en la dinámica analítica, sobre la aplicación del principio de acción a la teoría de perturbaciones. Obtuvo, en el ámbito relativista, las ecuaciones de la evolución de un sistema respecto de cualquier sistema de coordenadas, demostrando que en el caso límite se obtienen las ecuaciones hamiltonianas de la física clásica.

- En publicaciones de menor rango científico, pero dignas de destacar igualmente, cabe señalar el estudio por parte de López Arroyo del efecto Doppler relativista en 1960, el trabajo de R. Velasco de 1963 sobre la importancia de la espectroscopia para la física relativista, las reflexiones de Antonio Colino en 1961 sobre la necesidad de la aplicación de la relatividad en el ámbito de la física aplicada, el análisis en 1965, también protagonizado por Colino, sobre la solución de la paradoja de Olbers con la relatividad general, así como los libros de Iñiguez Almech y Cid Palacios, *Mecánica teórica clásica y relativista* (1965) y de Manuel Lucini *Principios fundamentales de las nuevas mecánicas (relativista, ondulatoria y cuántica)* (1966).
- Sobre cuestiones cosmológicas, la obra de Antonio Romañá, *Estado actual de la cosmología* (1966) es un referente excepcional en la literatura relativista española. Analiza en detalle la teoría de la gravitación de Einstein, de la que expone su desarrollo histórico de forma brillante, y sus consecuencias en las diversas teorías cosmológicas. Realiza un profundo repaso por todos los modelos cosmológicos relativistas, detallando las pruebas basadas en observaciones astronómicas de las mismas.
- Sobre astronomía, los profesionales se limitaron a dar a conocer, aunque con alto nivel científico en muchos casos, las principales novedades tanto sobre cuestiones teóricas como de observaciones astronómicas en las que estaban implicados efectos relativistas. Se trataron aspectos de evolución estelar, enanas blancas, radiación cósmica, cuásares, estrellas de neutrones, espectroscopia astronómica, púlsares e incluso detección de ondas gravitacionales. En todos los casos, a pesar de que reflejaban controversias sobre explicación de algunos fenómenos, se asumían aquellas explicaciones basadas en las teorías relativistas. Los principales autores sobre estos temas fueron Enrique Gullón, Antonio Paluzié, Orus Navarro, R. Velasco, José Pensado, Antonio Due, Baltá Elías, José María Torroja, Codina Vidal, Ballber y Antonio Romañá.
- En otras disciplinas de la física, donde hubo importantes aportaciones de científicos españoles sobre física teórica en los años de la dictadura (física nuclear y de partículas, teoría cuántica de campos, donde cabe destacar la labor de Garrido, Pascual, Galindo, Ynduráin y Sánchez del Río, entre otros), se asumía la relatividad como "ciencia normal", sin ninguna necesidad de defenderla explícitamente.
- En cuestiones específicamente matemáticas, son dignos de recordar los trabajos de Vidal Abascal en 1960 sobre geometría integral en espacios de Riemann y sobre teoría de geodésicas, destacando sus reflexiones sobre la importancia de la relatividad como motor de progreso de la geometría diferencial. Igualmente interesantes son los estudios teóricos de las transformaciones de Lorentz como grupo, por parte de Ochoa en 1961, de Ynduráin en 1966 y de Galindo en 1967.
- Los trabajos de García Pérez sobre geometría simpléctica de campos, mediante su tesis doctoral de 1967, con aplicaciones claras de índole puramente teórico sobre relatividad.

- En 1967 se apunta el comienzo de la labor investigadora sobre relatividad en España, con un trabajo de Luis Boya y J.A. de Azcárraga sobre las ecuaciones de Maxwell para un fotón en el vacío, obtenidas a partir de la aplicación de los principios relativistas de invariancia y de teoría de grupos. En 1969 los mismos autores publicaron un artículo sobre la forma de representar las ecuaciones de Maxwell y de Klein-Gordon, mediante operadores diferenciales covariantes en el espacio métrico de la relatividad especial. Como ejemplo de este inicio prometedor, un año antes Santos presentó un método para resolver las ecuaciones de campo gravitatorio en problemas de simetría cilíndrica con presencia de cargas.
- El primer encuentro de físicos teóricos celebrado en Santander en 1965. A esta reunión acudió uno de los principales físicos relativistas europeos, el español Lluís Bel, que venía desarrollando su labor profesional en Francia. Bel expuso su teoría sobre radiación gravitacional, basada en varios trabajos científicos aparecidos en Francia. También expuso temas sobre relatividad otro investigador español en Francia, Alfonso Capella, en concreto sobre cuantificación del campo gravitatorio y teorías lineales de la gravitación. Ambos pertenecían a un nutrido grupo de licenciados en Física españoles que, desde mediados del siglo XX, se establecieron en Francia para realizar estudios de doctorado y comenzar su carrera investigadora. A ellos hay que añadir otro físico relativista español en Francia, Lluís Mas, que presentó su tesis doctoral en la Universidad de Barcelona en 1970 sobre soluciones de las ecuaciones de campo, en base a una nueva métrica propuesta por Kerr. La influencia de Lluís Bel, que volvió temporalmente a España entre 1971 y 1973, fue determinante en la creación de un grupo estable de físicos relativistas en España, a principios de los años setenta.
- Las contribuciones de científicos españoles en el exilio, entre los que destacó Martínez Risco con sus trabajos sobre óptica relativista, desde 1947 hasta 1953. Aunque estos trabajos se publicaron en el ámbito de la ciencia francesa, es indudable que su formación y experiencia profesional en óptica e interferometría en España, fue determinante para su posterior trabajo en Francia. Desde este punto de vista, los trabajos de Martínez Risco en el país vecino hay que considerarlos como un logro, tanto de la ciencia española como francesa. En Francia se le dedicó un volumen especial recopilando toda su obra, con lo que Martínez-Risco ha visto reconocida en su país de acogida su excelente labor, aspecto que en cambio no lo ha sido tanto en España<sup>1</sup>.
- La labor del matemático Luis Antonio Santaló, exiliado en Argentina, al publicar algunos trabajos sobre teorías unitarias en 1959 y 1960, así como un excelente manual sobre cálculo tensorial, en 1961, donde se adelanta, de forma brillante, al futuro debate entre la comunidad científica internacional sobre la masa relativista.

Por último, es en el período desde 1970 a 1979, en sus primeros años, cuando se asienta la labor investigadora sobre relatividad en España, con la creación de un grupo específico de investigadores sobre relatividad, lo que permitió la realización de tesis

---

<sup>1</sup> Espero que, modestamente, sirva esta tesis para solventar dicho olvido

doctorales específicas sobre relatividad y la publicación significativa de trabajos de investigación en revistas especializadas extranjeras. Esta situación emergente lograría que este grupo adquiriera un cierto prestigio entre la comunidad científica relativista de otros países.

En la nueva dirección investigadora sobre relatividad los temas predominantes fueron la Mecánica Relativista Predictiva, la Teoría Cinética de la Cosmología y aspectos genéricos como soluciones a las ecuaciones de campo, diferentes métricas usadas en relatividad general y teorías unitarias. Entre los distintos científicos que trabajaron en estos años sobre relatividad están, además de Lluís Bel (la cabeza visible), Jesús Martín, Ramón Lapiedra, Lluís Mas, Enrique Álvarez, José Manuel Sánchez Ron, Gracia Bondía, Goded Echeverría y Joaquín Olivert, entre otros.

Además, hay que añadir el comienzo de *los Encuentros Relativistas Españoles*, que en los años ochenta adquieren igualmente relevancia a nivel internacional, con progresiva presencia de relativistas extranjeros. Igualmente es trascendental el comienzo, en 1975, de congresos sobre astrofísica, bajo la denominación *Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, con algunas contribuciones relacionadas directamente con la relatividad. En 1977 se realiza la segunda asamblea, con mayor número de trabajos al respecto, entre las que destacan temas sobre explosión estelar, estrellas de neutrones, etc. Las directrices en cuanto a temas de investigación son principalmente la Mecánica Predictiva Relativista y la teoría cinética de la cosmología relacionada directamente con la termodinámica relativista (lo que implicará por primera vez estudios teóricos sobre cuásares, estrellas de neutrones y púlsares), así como otros aspectos genéricos.

Hubo además otros dos acontecimientos importantes: la impartición en 1977 por Lluís Bel de un curso sobre mecánica relativista predictiva, y la organización en 1979 de unas jornadas sobre las teorías de Einstein, en la Academia de Ciencias de Madrid, donde cabe señalar una comunicación de Galindo sobre agujeros negros.



## 6.2. CONSIDERACIONES PERSONALES Y PROPUESTAS PARA EL DEBATE

En este apartado realizo una serie de consideraciones personales, que considero pueden sugerir algunos debates interesantes sobre la historia de la relatividad en España y, a su vez, sobre la ciencia española. Se agrupan en una serie de temas con sus correspondientes epígrafes y son los siguientes: consideraciones sobre las causas de la temprana aceptación de la relatividad en nuestro país, sobre la división en períodos del proceso de recepción, consideraciones genéricas sobre las resistencias a abandonar la hipótesis del éter, sobre la situación de la física teórica española en la época franquista y, por último, sobre la utilidad de la bibliografía primaria consultada respecto a la relatividad.

### *Sobre las causas de la pronta aceptación de la relatividad en España.*

En líneas generales, se puede decir que en la España del primer tercio del siglo XX hubo una aceptación general de la relatividad en la comunidad científica. Dicha aceptación tuvo las siguientes características:

- La relatividad especial se asimiló de forma algo tardía en cuanto a interpretación correcta de la misma, como se puede comprobar en los procesos de evolución del pensamiento al respecto por parte de Terradas y Cabrera. En cambio la teoría general fue asumida con relativa rapidez.
- No predominaron los debates científicos para cuestionarla desde posiciones de rigor científico.
- El espectacular desarrollo de la ciencia española favoreció la entrada de innovaciones importantes, como ejemplo está la influencia en el proceso de aceptación de los matemáticos italianos, con importantes conexiones con los españoles. En un aspecto más general, la situación cultural y social en España era proclive para el tratamiento y asimilación de ideas revolucionarias, especialmente en cuanto a difusión popular de las mismas.
- Las figuras dominantes de la Física y Matemática participaron activamente en la difusión de la relatividad, con lo que favorecieron su aceptación.

En mi opinión, esta última característica fue la de mayor peso en la aceptación en España de la relatividad, es decir la actitud individual y la influencia de los primeros científicos destacados, Cabrera, Terradas y Plans, en los que sobresale su actitud personal. Posteriormente, el hecho de que Cabrera y Terradas fueran figuras dominantes de la ciencia española, pudo caracterizar la influencia institucional en el proceso de aceptación.

En los textos de Cabrera y Terradas se comprueba su conocimiento del estado de la física prerrelativista y la evolución de su pensamiento al respecto. En cambio, entre los matemáticos españoles no hubo ninguna resistencia a la relatividad, ni ningún proceso de evolución de su pensamiento al respecto, por lo menos que se hubiera constatado a través de sus escritos.

Algunos autores que han trabajado sobre la recepción de la relatividad en España, han establecidos unos motivos de este proceso general de aceptación de la misma, que no son coincidentes con los concluidos por mí. En el caso que nos ocupa lo han hecho así Antonio Lafuente (1982) y Glick (1986).

Antonio Lafuente opina que uno de los motivos de la inicial falta de reacción contraria a las tesis relativistas en España fue que “En España, todo el conjunto de preocupaciones de la Física prerrelativista fue ignorado”.<sup>1</sup> Desde mi punto de vista, creo que esta idea no es aplicable a los casos de Cabrera y Terradas. También Glick señala “dos generalizaciones que se aplican a todos los relativistas españoles [...]. Primero, en España no había una tradición maxwelliana que impidiera la recepción de la relatividad basándose en un dogmatismo físico. Verdaderamente, como ha observado Antonio Lafuente, en España todo el conjunto de preocupaciones de la Física prerrelativista fue ignorado. Finalmente, la conexión con los matemáticos italianos coloreó fuertemente la recepción española de la relatividad.”<sup>2</sup>

En la segunda afirmación de Glick respecto a la conexión entre la matemática española e italiana, estoy completamente de acuerdo. Es evidente sin más que realizar una revisión de la bibliografía la aportación de los matemáticos españoles a la difusión científica de la relatividad por su información directa sobre las matemáticas desarrolladas por Levi Civita. El caso más claro es el de Plans. Pero no sólo en este aspecto de difusión sino también en que la relatividad, tanto la especial como la general, se presentó como una validación de la ciencia matemática avanzada y su valor en la aplicación a fenómenos que posteriormente tenían corroboración experimental. Confirma esta opinión que los libros de carácter más original en España fueron de orientación matemática, como los de Plans y Puig Adam.

En cuanto a la primera afirmación, que parece conjunta de Glick y Lafuente hay acuerdo entre los historiadores en que en España no había tradición científica maxwelliana, criterio con el que coincido. Pero esto no implica que los problemas de la física prerrelativista no se hubieran considerado. Repasando el apartado 3.3.1 de esta tesis, “Primeras referencias”, podemos comprobar que esta idea no era cierta para Echegaray (según referencias dadas de 1905), ni para Cabrera y Terradas, como se puede comprobar en sus comunicaciones del congreso de la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias* de 1908. En este sentido es significativo lo pronto de la publicación en nuestro país de obras clave de Poincaré, en 1906 y 1907. Además, hubo otras contribuciones originales al respecto, como la de Pérez del Pulgar en 1907, que se basaban precisamente en el buen grado de conocimiento de la crisis existente en la física prerrelativista.

Además, considero que la evolución en el pensamiento de Cabrera y Terradas ratifica mi opinión. El hecho de que inicialmente tanto Cabrera como Terradas hicieran una interpretación errónea de la relatividad como exclusivamente electromagnética, da cuenta de su buen conocimiento de la física anterior, lo que no les indujo a rechazar la teoría de Einstein, pero sí a tardar un tiempo en asimilarla.

---

<sup>1</sup> Antonio Lafuente, “La relatividad y Einstein en España”, *Mundo Científico*, nº 15, v 2, 1982, p. 584.

<sup>2</sup> Glick, *Einstein y los españoles*, Alianza, Madrid, 1986, p. 143.

La idea de Lafuente y Glick sí la considero acertada para el caso de los matemáticos y posiblemente para otros muchos científicos. Pero considerando que la introducción de la relatividad fue protagonizada principalmente por tres personalidades relevantes, Cabrera, Terradas y Plans, creo que no es aplicable esta generalización.

En este sentido suele ser frecuente entre los historiadores de procesos de recepción identificar patrones comunes de dichos procesos. Desde mi punto de vista, en el caso de la relatividad sí suelen darse patrones similares en la recepción popular, como el tratamiento de la incomprensibilidad de la relatividad, la mitificación de la figura de Einstein o los planteamientos equívocos. En cambio, soy reacio a generalizar patrones de recepción científica por países, porque, aunque no niego que puedan darse, creo arriesgado generalizar los diferentes comportamientos que se pudieran dar.

#### *Sobre la división en períodos de la recepción de la relatividad*

A pesar de que en el desarrollo del capítulo tercero, dedicado a la recepción científica de la relatividad, no he realizado una división en periodos, salvo el indicado a las primeras referencias, de lo expuesto se puede inferir una posible división del proceso de recepción de la relatividad en España en unos periodos característicos. El criterio que he seguido para esta clasificación es puramente metodológico y basado en las publicaciones originales. Los periodos que he decidido establecer son los siguientes:

Periodo de introducción (1908-1911).

Periodo de asimilación (1912-1919).

Periodo de expansión y consolidación (1920 - 1923).

Periodo de diversificación (1924-1936).

El periodo de introducción comienza con las primeras referencias de 1908 y 1909. Incluye las publicaciones en las que todavía se interpreta la relatividad de forma incompleta.

El segundo periodo comienza en 1912 por ser el año en el que Terradas y Cabrera publican textos más completos, en los que se concluye la interpretación correcta y completa de la relatividad por parte de Terradas. En este periodo Cabrera todavía no abandona la idea del éter y va evolucionando en este sentido. Es el periodo en el que los científicos españoles asimilan la relatividad.

El tercer periodo, a partir de 1920, lo marca las consecuencias de las observaciones del eclipse de 1919. Se tratan estas observaciones en España, empiezan a publicarse libros completos desde 1920 y en 1921 se generaliza el tratamiento en diferentes medios. En 1923, coincidiendo con la visita de Einstein, se produce un espectacular crecimiento de las publicaciones, tanto libros como artículos en revistas científicas y de divulgación. Es importante destacar que el viaje de Einstein influyó de forma determinante en el crecimiento de las publicaciones. Si éste se hubiera realizado en 1921, como era la intención inicial de las instituciones españolas, es probable que se hubiera adelantado el impacto bibliográfico.

El cuarto periodo, a partir de 1924, lo he denominado de diversificación porque aparecen artículos relacionados con la teoría única de campo, sobre cosmología, artículos antirrelativistas o que intentaban rescatar la idea del éter.

#### *Consideraciones sobre el proceso de abandono de la hipótesis del éter*

Se suele presentar la resistencia a abandonar la hipótesis del éter por parte de algunos historiadores asociándola al rechazo de la relatividad especial. Pero de alguna manera era lógico mantener la hipótesis del éter, aun admitiendo el principio de relatividad especial. El motivo es que la hipótesis del éter estaba basada inicialmente en la necesidad de un medio que pudiera vibrar para permitir la propagación de las ondas electromagnéticas. Junto con esta idea, estaba la del éter como referencia absoluta y como medio de interacción por continuidad, necesario para la acción gravitatoria, ya que así se descartaba la acción a distancia.

Con la admisión del principio de relatividad, válido tanto para fenómenos mecánicos como electromagnéticos (relatividad especial), se podía descartar la hipótesis del éter como referencia absoluta. Aunque seguía quedando el problema del medio soporte para la propagación de las ondas electromagnéticas, se solucionó posteriormente con la hipótesis de la vibración de los campos eléctricos y magnéticos en el vacío; es decir con la aceptación de que las ondas electromagnéticas se podían propagar en el vacío.

El tercer problema se solucionó con la relatividad general, que implicaba una teoría de la gravitación basada en las propiedades geométricas del espacio-tiempo. De esta forma, la interacción gravitatoria podía explicarse por el efecto de curvatura del espacio que se producía por contigüidad, con lo que se evitaba la acción a distancia. Por lo tanto hasta la formulación de la relatividad general, que soluciona el problema de la acción a distancia de la gravitación, parecía lógico aceptar la relatividad especial pero mantener a su vez el éter, no como referencial del espacio absoluto pero sí como medio de propagación de la interacción gravitatoria.

De hecho, hubo casos de científicos que intentaron compatibilizar la hipótesis del éter con la relatividad, ya que seguían postulando la necesidad de un medio elástico que pudiera vibrar para explicar dicha propagación, así como fenómenos como las ondas de radio parásitas que se detectaban en los procesos de radiocomunicación. Es decir, en el caso de algunos científicos, mantenían la necesidad del éter porque no aceptaban la propagación de ondas en el vacío, no porque rechazaran la relatividad. De todas formas eran una minoría (hemos visto algunos ejemplos de esta situación), de hecho solía ser frecuente entre los que mantenían la hipótesis del éter rechazar la teoría de Einstein.

#### *Sobre el debate en torno a la física española en la época de Franco*

Considero que una de las aportaciones de mi tesis es que creo puede ayudar a enriquecer el debate sobre la física española en la época de Franco, de forma desapasionada y sin consideraciones ideológicas.

Creo que en España ha podido haber, en alguna medida, una falta de reconocimiento a la labor de físicos teóricos desarrollada durante la dictadura. Respecto a la teoría de Einstein, es posible que la falta de reconocimiento se haya debido a la idea de que en la España franquista la relatividad estaba poco menos que proscrita y que hubiera que esperar hasta la llegada de la democracia para su rehabilitación, quizá por la excesiva influencia de Julio Palacios, que se significó combativamente contra la relatividad. En esta tesis refuto esta idea, demostrando que Palacios fue una excepción y que desde los años cuarenta la mayoría de físicos, matemáticos y astrónomos tenían asumida la relatividad como cuerpo de doctrina establecido y publicaron trabajos en este sentido.

Ciertamente la dictadura franquista implicó un enorme retraso en la ciencia española, emergente desde los años veinte, tanto por el exilio como por las depuraciones internas, así como por la impregnación, especialmente en las dos primeras décadas, de una ideología totalitaria que abarcaba todas las facetas de la vida social, cultural y científica. Pero ello no autoriza, en mi opinión, a desacreditar la labor de tantos excelentes científicos en nuestro país en esos años, bien es cierto que con grandes limitaciones por los escasos recursos, que además incidían en la baja prioridad hacia la física teórica. Por lo tanto, debido a la situación citada, hubo escasa ciencia teórica relacionada con la relatividad en España en esos años. Pero la hubo, y me atrevería a afirmar que la poca fue de calidad, bien es cierto que más por la aportación individual de sus protagonistas que por una política científica acorde a lo que debiera haber sido.

Estudios brillantes de Historia de la Física en España, como el de Carlos Gámez Pérez de 2002 o el ya citado de Glick, inciden en la ausencia de la relatividad en la física española durante la dictadura. En este sentido, la frase de Glick, con la que finaliza su excelente libro, "la rehabilitación de Einstein, como las de Darwin y Freud, tenía que esperar hasta que la transición a la democracia fuera completa"<sup>3</sup>, la considero injustificada respecto a Einstein. Más adelante volveré sobre este asunto.

Respecto los planes de estudios españoles durante el franquismo dice textualmente Carlos Gámez

Una de la razones que llevó a tener una visión tan pobre de la física española de las primeras décadas del franquismo era la total ausencia de física moderna en los planes de estudios. No se veía nada de mecánica cuántica o relatividad en la licenciatura de física en España durante los años 1950, campos muy desarrollados ya en aquellos años en la física internacional.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Glick, *Einstein y los españoles*, 1986, p 302.

<sup>4</sup> Carlos Gámez Pérez, *El Grupo Interuniversitario de Física Teórica (GIFT): Génesis y desarrollo histórico (1968-1976)*, Centre d'Estudis d'Història de les Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona, 2002, p.11.

Creo haber demostrado en el apartado 4.12 dedicado a los planes de estudios sobre relatividad en esos años, con referencias del BOE de la época y anuarios de diferentes universidades, que la apreciación de Gámez es incorrecta.<sup>5</sup>

Glick, en su obra *Einstein y los españoles*, ya citada varias veces, que es extraordinaria como estudio profundo de la recepción de la relatividad en España, acaba el libro con el siguiente párrafo:

La recepción de la relatividad en España, que es imposible desligar del impacto personal de Einstein, ilustra las condiciones en las que se desarrolló el discurso civil en este país en la primera mitad del siglo XX. En la medida en que el pacto no escrito entre la derecha y la izquierda se mantuvo en vigor, sólo fanáticos clericales irreducibles y sus epígonos seculares consideraban adecuado incluir a Einstein y la relatividad en la lista de horrores familiares “liberales”. La afirmación de Ataulfo Huertas de que la relatividad no se había politizado era una reflexión precisa de la función positiva del discurso civil en los años 1920. Cuando la fisura política se hizo más honda al principio de los 1930, tanto la relatividad como la imagen de Einstein fueron víctimas de la quiebra del discurso civil. La identidad judía de Einstein, por ejemplo, que no había sido puesta en cuestión en los años 1920 se convirtió en la década siguiente en un índice de la fisura cada vez más profunda. Con todo, era difícil retrasar completamente el reloj dada la continuidad de la democracia política. Incluso después de la victoria de Franco y el intento deliberado de silenciar el discurso civil, los conservadores pro Einstein no podían ser disuadidos de su inclinación relativista. En la época de la muerte de Einstein en 1955, la mayoría de los primitivos conservadores relativistas habían abandonado la escena y **la rehabilitación de Einstein, como las de Darwin y Freud, tenía que esperar hasta que la transición a la democracia fuera completa.**<sup>6</sup>

En mi opinión, la idea de Glick del discurso civil del primer tercio del siglo XX como motivo de la falta de debate ideológico sobre la relatividad, al contrario de lo ocurrido con el darwinismo a finales del siglo XIX en España, es certera y brillante. Pero en cambio, creo erróneas las conclusiones que extrae sobre la relatividad como consecuencia de la ruptura de dicho discurso con la dictadura franquista. Creo haber demostrado con multitud de ejemplos que la relatividad se trató con normalidad en España en esos años y que el caso de Palacios fue una excepción. Ciertamente no hubo una línea de investigación en física teórica encaminada a la relatividad, lo que no empezaría hasta 1970, pero no hubo que esperar a la llegada de la democracia para comenzar esta labor investigadora. Igualmente, en el apartado dedicado a Palacios he

---

<sup>5</sup> He de afirmar que esta laguna de Carlos Gámez no empaña, en absoluto, su excelente labor de investigación sobre el origen y desarrollo histórico del GIFT. De hecho, su trabajo me ha servido de una ayuda inestimable, por lo que, aun sin conocerle personalmente, le estoy muy agradecido, ya que trabajos como el suyo ayudan a valorar, como se merece, la importancia de la historia de la ciencia.

<sup>6</sup> Glick, *Einstein y los españoles*, 1986, p 301 y 302. El destacado en negrita es mío. Glick mantiene este mismo párrafo final en la reedición de 2005.

comentado la idea de Glick de que el ambiente de la época era favorable a posturas antirrelativistas como la de Palacios, lo que creo haber refutado en el apartado 4.4.4.

Personalmente, creo que el que no hubiera labor investigadora sobre relatividad hay que atribuirlo no a cuestiones ideológicas, sino a que la prioridad de las autoridades científicas españolas estaba encaminada a la Física Nuclear por criterios de utilidad económica y que el lamentable estado económico de la ciencia española no facilitaba la investigación en otras disciplinas teóricas.

De hecho, como anécdota sobre este trabajo de investigación histórica llevado a cabo por mí, he de decir que la frase final de Glick me inclinó inicialmente a pensar que durante la dictadura prácticamente no se publicó nada sobre relatividad, salvo los trabajos de Palacios. Pronto me di cuenta de mi error conforme iba realizando las búsquedas sistemáticas por las diferentes revistas especializadas españolas.

Bien es cierto que el hecho de que el primero de los *Encuentros Relativistas Españoles* no se realizara hasta 1977 puede inducir a error en este sentido. Pero hay que considerar la escasez de recursos económicos en nuestro país por esos años y el hecho de que los primeros grupos de investigación sobre relatividad no se crearan hasta el principio de los años setenta. Por lo tanto no cabe atribuir a una cuestión con carga ideológica la tardanza en la celebración de dichos encuentros, sino más bien a un paulatino desarrollo de la física teórica en nuestro país desde mediados de los años 1960. Por ejemplo, congresos sobre física teórica relacionados con física nuclear y de partículas ya se venían realizando regularmente desde 1968 y recordemos el primero celebrado en 1965 con comunicaciones específicas sobre relatividad.

Un debate reciente sobre la situación de la física española durante la dictadura es el protagonizado en las páginas de *Physics Today* en 2001 y 2002 entre Julio Gozalo por un lado y Toni Feder y otros físicos españoles por otro. Ante un escrito de Toni Feder en el que analizaba el cambio de la Física española desde la llegada de la democracia, Julio Gozalo, profesor de la Universidad Autónoma de Madrid, se quejaba del escaso reconocimiento del primero al hecho de que el auge de la investigación en física teórica en nuestro país, en concreto sobre física del estado sólido, se inició años antes de la muerte de Franco. Pero introdujo una desafortunada referencia de índole claramente ideológico sobre la importancia de Franco por lograr “una decisiva victoria sobre el comunismo”. A su vez, varios miembros de la misma universidad, Enrique Álvarez, José M. Calleja y Cayetano Lopez, replicaron posteriormente a Gozalo en la misma revista con argumentos predominantemente políticos.<sup>7</sup>

En definitiva, en España durante la dictadura hubo escasa física teórica, pero hubo, bien es cierto que más por la aportación individual de algunos jóvenes científicos

---

<sup>7</sup> Toni Feder, “Science in Spain”, *Physics Today*, Agosto 2001, “Section: Issues And Events, v 54, p20. Julio Gozalo, “Science in Franco's Spain”, *Physics Today*, Letters Marzo 2002, p 14. E. Álvarez, J.M. Calleja y C. López, “Another Look at Science in Spain Under Franco”, *Physics Today*, Letters, Julio 2002 p. 84. Sobre la situación de la física en la España de Franco véase también Sánchez Ron, “Echoes of the Civil War: Physics in Franco's Spain”, en De Maria, Grilli, Sebastian, *The restructuring of physical sciences in Europe and The United States 1945-1960*, 1990, p 304-311.

españoles que por una adecuada política científica, que no oculta la excelente labor de algunos de los protagonistas de nuestra historia.

No quiero con todo esto decir que en la dictadura no hubo sectarismo en la gestión científica de las autoridades franquistas. Buena prueba de ello, entre otras muchas, es la carta de Terradas al secretario general del CSIC en 1949 en la que se quejaba de la interferencia de cuestiones políticas en la dirección científica. Sirva como ejemplo el siguiente párrafo:

Considero necesario y urgente formar vocaciones científicas entre gente inteligente, pero a la vez considero muy difícil el ambiente de necesidad de una parte y de gasto superfluo, de vida mollar alcanzada por vía de la política y de ostentación y mandamás de lo puramente ordenancista y administrativo que nos ahoga.<sup>8</sup>

El debate indicado anteriormente sobre el estado de la física en la España de Franco también está relacionado con las posibles influencias externas en el posicionamiento de Palacios. Hemos visto en el apartado 4.4.4. que Glick opinaba que el ambiente político de la época favorecía teorías antirrelativistas como las de Palacios. En el apartado citado he desarrollado en profundidad los motivos de Palacios para posicionarse de forma contraria a la relatividad, entre los que he descartado, justificándolo, los de tipo ideológico por las circunstancias del régimen franquista.

#### *Sobre la utilidad de las fuentes bibliográficas primarias españolas.*

En este aspecto quiero destacar algunos textos de los analizados como fuentes primarias que pueden ser ejemplos magníficos de bibliografía sobre relatividad, perfectamente válidos como manuales de consulta (como así fueron en esa época para la formación de muchos científicos), es decir, válidos a su vez como bibliografía secundaria en otros trabajos sobre relatividad. En este caso no me refiero a trabajos científicos de investigación, sino a obras completas de nivel alto o medio. En mi opinión son los siguientes:

- José María Plans, *Nociones fundamentales de mecánica relativista*, 1921;
- Blas Cabrera, *Principio de Relatividad*, 1923 (de este libro se ha hecho una nueva edición en 1999, con ensayo introductorio de Fernández-Rañada);
- Esteban Terradas y Ramón Ortiz Fornaguera, *Relatividad*, 1952;
- Luis Antonio Santaló, *Vectores y tensores y sus aplicaciones*, 1961;
- Luis María Garrido Arilla, *Mecánica cuántica*, 1963, (reedición ampliada de *Cinemática cuántica relativista* de 1961);
- Antonio Romañá, *Idea sobre el estado actual de la cosmología* (1966).

---

<sup>8</sup> La reproducción completa, de la que se ha extraído este párrafo aparece en Roca Rosell y Sánchez Ron, *Esteban Terradas. Ciencia y Técnica en la España contemporánea*, INTA- Serbal, 1990, p. 299-301.





## **BIBLIOGRAFÍA**

La bibliografía se presenta de la manera siguiente:

- Referencias originales o bibliografía primaria. Son las fuentes originales sobre las que me he basado para este trabajo, abarcando en principio textos desde 1905 hasta 1979. Esta bibliografía la presento primero por autor y luego por años.
- Bibliografía secundaria o de consulta. Abarca textos sobre la Teoría de la Relatividad (tanto aspectos puramente científicos como históricos), sobre la recepción de la relatividad en España y otros países, sobre historia de la ciencia española, así como biografías de algunos de nuestros protagonistas.

El motivo de presentar la bibliografía primaria mediante otra relación ordenada cronológicamente por año es que de esta forma se obtiene una visión histórica que puede ayudar a visualizar el proceso de recepción y posterior tratamiento de la relatividad en la ciencia española. Aunque he indicado que el estudio abarca hasta 1979, excepcionalmente hay algunas referencias posteriores por la relación directa con algunos de los temas tratados en el contenido. Igualmente las dos únicas referencias anteriores a 1905 aparecen por haberlas tenido que consultar debido a citas asociadas que he encontrado en los textos originales.

En las referencias originales aparecen algunas de autores extranjeros no publicadas en medios españoles. El motivo de considerarlas como bibliografía primaria es porque contienen información clave de algunos aspectos tratados por autores españoles, por lo que forman parte también de dicha bibliografía primaria asociada al tratamiento de la relatividad en la ciencia española.

Sobre las Tesis Doctorales que aparecen en las referencias originales, he podido consultar, bien directamente o bien por resúmenes publicados, las de Francisco J. Ynduráin, Lluís Mas, Enrique Álvarez, Gracia Bondía, Joaquín Olivert y Jesús Martín. Del resto de las tesis que aparecen en la relación de referencias originales, he extraído la información asociada a sus respectivos resúmenes de bases de datos disponibles en Internet, principalmente *TESEO*.

## REFERENCIAS ORIGINALES POR AUTOR

- ABELLAN, J. A. NAVARRO Y E. ÁLVAREZ; "Thermodynamics and Cosmology", *Journal of Physics A*, "Letter to the editor", v 10, nº7, 1977, p L129-L130.
- AGUILAR PERIS, JULIO.; "La física de los neutrinos", *Las Ciencias*, 1964, p 307-315.
- ALCOBÉ, E.; "Física", entradas de la *Enciclopedia Universal Espasa*, suplemento 1934, p 361-365; suplemento 1936-1939, p 1003.
- ALDASORO, J.M.; Reseña de Norris Russell "Sobre la teoría de la gravitación de Majorana" ; *Anales Soc. Esp. Física y Quím*, 1922, p 9.
- ALONSO, J.L. Y F.J. YNDURÁIN, "On the Continuity of Causal Automorphisms of Space-Time", *Communications in Mathematical Physics*, v 4, 1967, p 349-351.
- ÁLVAREZ, ENRIQUE; *El equilibrio Liouville en Relatividad General*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 1975.
- ÁLVAREZ, E.; "On the generalized relativistic Liouville equilibrium", *Journal of Physics A*, v 9, nº5, 1976, p 687-696.
- ÁLVAREZ, E. "On the transport equations for a one-component relativistic gas", *Journal of Physics A*, v 9, nº 11, 1976, p 1861-1875.
- ÁLVAREZ, E. Y LLUIS BEL; "Generalized angular-velocity formula and kinematical analysis of 3C 279", *The Astrophysical Journal*, v 179, 1973, p 391-393.
- ÁLVAREZ, E. Y J.M GRACIA BONDÍA; "Absorption Lines of Quasistellar Objects: A Kinematical Description", *Astronomy and Astrophysics*, v 36, nº 2, 1974, p 299-303.
- ÁLVAREZ, E., L. BEL Y JM. GRACIA BONDÍA; "Kinematical Description of Quasi-stellar Objects", *Astronomy and Astrophysics*, v 40, nº 4, 1975, p 381-386.
- ÁLVAREZ GAUME; "On the radiation-reaction terms which appear in classical electrodynamics", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 75A, 1979, p 195-197.
- ÁLVAREZ LÓPEZ, JOSÉ Y J.C. CHAUTEMPS.; "Interferencia gravitacional en el efecto Einstein", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 60, 1966, p 585-595.
- ANGLAS, J; *De Euclides a Einstein, relatividad y conocimiento*, Ed. Hernando, Madrid, 1928.
- APRAIZ, F.; "La interpretación mecánica de los fenómenos eléctricos y magnéticos. Sesión del 30 de Junio de 1921", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso Ciencias*, congreso celebrado en Oporto, tomo V, secc. c.físico-químicas, 1922, p 73-85.
- APRAIZ, F.; "La Electrodinámica de los cuerpos en movimiento y el retorno de la Mecánica clásica; Sesión del 22 de Mayo de 1929", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, duodécimo congreso celebrado en Barcelona, tomo V, secc. c. físico-químicas, 1930, p 55-68.
- APRAIZ, F.; *Las seis dimensiones del espacio físico. Errores de la física actual y naturaleza de la electricidad y el éter*, Tipográficas Falange, Las Palmas, 1945.
- APRAIZ, F.; "El aumento de la masa con la velocidad ¿es un hecho probado?" *Ibérica*, nº 118, Agosto 1947, p 95-96.
- APRAIZ, F.; "Es la carga eléctrica la que varía con la velocidad (una probable confusión)", *Ibérica*, nº 170, Octubre 1949, p 261-263.
- ARCIDIACONO, GIUSEPPE; "La relatività di Fantappiè", *Collectanea Mathematica*, 1958, p 85-124.
- ARCIDIACONO, G.; "Relativita finale e cosmologia", *Collectanea Mathematica*, v 12, 1960, p 4-32.

- ARCIDIACONO, G.; "Gli spazi di Cartan e le teorie unitarie", *Collectanea Mathematica*, 1964, p 150-168.
- ARCIDIACONO, G.; "Relativita cinematica e cosmologia proiettiva", *Collectanea Mathematica*, 1965, p 180-196.
- ARCIDIACONO, G.; "L'universo di De Sitter e la relativita proiettiva", *Collectanea Mathematica*, 1968, p 52-71.
- ARCIDIACONO, G.; "Magnetohidrodinamica e cosmologia", *Collectanea Mathematica*, 1968, p 178-202.
- ARCIDIACONO, G.; "L'universo di De Sitter e la Meccanica", *Collectanea Mathematica*, 1969, p 231-255.
- ARCIDIACONO, G.; "L'universo di De Sitter e l'astrofisica", *Collectanea Mathematica*, v 25, 1974, p 296-316.
- ARMENTER DE MONASTERIO, FEDERICO; "Progresos realizados en la investigación astronómica durante el año 1950", *Urania*, 1951, p 162-183.
- ARMENTER, F.; "Recientes estudios sobre la radiación cósmica", *Las Ciencias*, 1952, p 209-238.
- ARTAZA, FERMÍN; "Nuevo procedimiento de deducir las fórmulas de transformación de Lorentz", *Revista de Obras Públicas*, 1930, p 9-13.
- ARTAZA, F.; "La relatividad del tiempo en Física", *Revista de Obras Públicas*, 1930, p 326-330.
- ARZELIES; *La dynamique relativiste et ses applications II*, Gauthier-Villars, París, 1958.
- ASCARZA, VICTORIANO F. "Noticia preliminar del eclipse de sol de 21 de Agosto de 1914 y de los trabajos y observaciones hechas por la comisión del observatorio de Madrid", *Anuario del Observatorio de Madrid para 1915*, 1914, p 439-469.
- ASCARZA, V.; "Eclipse total del Sol de 21 Agosto de 1914. Trabajos de la comisión española", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 12, memorias, 1914, p 460-469.
- AZCARRAGA, J.A Y LUIS BOYA; "On the formulatiuon of spin zero and one particle equations" *Anales Soc. Esp. Física y Quim., serie A Física*, v 65A, 1969, p 73-76.
- BAILON Y SÁNCHEZ GOMEZ; "The spectrum of charmonium in a relativistic potential model", *Anales Soc. Esp. Física y Quim., serie A Física*, v 73A, 1977 p 115-116.
- BALLBER L.J. ; "Achatamiento del disco solar", *Aster*, nº 140, 1967 p 31-32.
- BALLBER L.J. ; "Detección de ondas de gravitación", *Aster*, nº 145, 1969, p 45-46.
- BALMES; *Filosofía Fundamental*, 1846 (Ed. Sopena, Argentina, 1963).
- BALTÁ ELÍAS, JOSÉ; "Evolución de las teorías sobre la propagación de las ondas hertzianas"; *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, 1929, v 2, p 5-30.
- BALTÁ, J.; "Una nueva ciencia: la radioastronomía", *Revista de la Universidad de Madrid*, 1952, p 501-524.
- BALTÁ, J.; "Recientes progresos en Radioastronomía. Radiación solar hiperfrecuente", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 47, 1953, p 195-240.
- BALTÁ, J.; "Einstein y la teoría de la radiación"; *Physicalia*, nº 19, 1955, p 9-11.
- BALTÁ, J.; "Einstein, físico universal"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v59, 1955, p 103-114.
- BALTÁ, J.; "El premio Nobel de Física para 1961", *Physicalia*, nº 40, 1962, p 11-13.
- BALTÁ, J.; "Fundamentos de radioastronomía", *Aster*, nº 125, 1963, p 18-29.
- BALTÁ, J.; "Las enigmáticas emisiones radioeléctricas al azar del planeta Jupiter", *Urania*, 1963, p 129-148.

- BALTÁ, J.; "Recientes progresos en el conocimiento de la radiación cósmica. Constitución química y energética de los rayos cósmicos", *Las Ciencias*, 1965, p 171-182.
- BALTÁ, J. "Efecto Mössbauer", *Gran Enciclopedia Durvan*, Bilbao, tomo 21, 1967, p805.
- BALTÁ, J. "Ondas gravitatorias", *Gran Enciclopedia Durvan*, Bilbao, tomo 22, 1967, p860.
- BALTÁ, J.; "Homenaje a J. Palacios. Intervención de D.José Baltá Elías"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v64, 1970, p 663-679.
- BALTÁ, J. "Relatividad", *Gran Enciclopedia Durvan*, Bilbao, Apéndice 1971, p805.
- BARANGUÉ; "Ideas cosmológicas actuales", *Urania*, 1951, p 197-20.
- BEL, LLUIS; "Sur les discontinuités des dérivées secondes des potentiels de gravitation", *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 245, 1957, p 2482-2485.
- BEL, L.; "Définition d'une densité d'énergie et d'un état de radiation totale généralisée". *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 246, 1958, p 3015-3018.
- BEL, L.; "Sur la radiation gravitationnelle", *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 247, 1958, p 1094-1096.
- BEL, L.; "Étude algébrique d'un certain type de tenseurs de courbure. Le cas 3 de Petrov", *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 247, 1958, p 2096-2099.
- BEL, L.; "Introduction d'un tenseur du quatrième ordre", *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 248, 1959, p 1297-1300.
- BEL, L.; "Quelques remarques sur la classification de Petrov. Etude du cas 2". *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 248, 1959, p 2561-2563.
- BEL, L.; "La radiation gravitationnelle", *Seminaire Janet. Mécanique analytique et mécanique céleste*, v2, n° 12, 1959, p 1-16.
- BEL, L.; "Champ de gravitation avec induction", *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 250, 1960, p 2137.
- BEL, L.; "Inductions électromagnétique et gravitationnelle", *Annales de l'institut Henri Poincaré*, v 17, n° 1, 1961, p37-57.
- BEL, L.; "Les états de radiation et le problème de l'énergie en relativité générale", *Cahiers de Physique*, v 16, 1962, p 59-80 (reeditado como "Radiation States and the problem of energy in General Relativity", *General Relativity and Gravitation*, v 32, n° 10, 2000, p 2047-2078).
- BEL, L.; "La radiation gravitationnelle", *CNRS*, 1962, p 119-126.
- BEL, L.; "Étude de certains operateurs definis sur les formes tensorielles", *Annali di Matematica Pura ed Applicata*, v 62, n°11, 1963, p 171-192.
- BEL, L.; "La radiación gravitacional", *Actas de la I Reunión de física teórica: Santander 16-18 Agosto 1965*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, 1965.
- BEL, L.; "Le champ scalaire en relativité restreinte", *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, v8 n°2, 1968, p 205-216.
- BEL, L.; "Schwarzschild Singularity", *Journal of mathematical Physics*, v 10, 1969, p1501-1503.
- BEL, L.; "Kinetic theory of Cosmology", *The astrophysical Journal*, v 155, 1969, p 83-87.
- BEL, L.; "Dynamique des Systemes de N Particules Ponctuelles en Relativité Restreinte", *Annales de l'Institute Henri Poincaré*, v 12, 1970, p 307-321.
- BEL, L.; "Predictive relativistic mechanics" *Annales de l'Institute Henri Poincaré A*, v 14, n° 3, 1971, p 189-203.
- BEL, L.; "Les Sources des Solutions Statiques de Schwarzschild et de Curzon", *General Relativity and Gravitation*, v 1, n° 4, 1971, p 337-347.

- BEL, L.; "Hamiltonian Poincaré invariant systems", *Annales de l'Institut Henri Poincaré A*, v 18, nº1, 1973, p 57-75.
- BEL, L.; *Mecánica relativista predictiva*, (inédito), curso impartido en la Universidad Autónoma de Barcelona en mayo 1976.
- BEL, L. y LEAUTE, B.; "Champ scalaire et configurations d'équilibre de grosses masses", *Annales de l'Institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, v10 nº 3, 1969, p 317-348.
- BEL, L., A. SALAS Y J.M. SÁNCHEZ RON; "Approximate solutions of Predictive Relativistic Mechanics for the Electromagnetic Interaction", *Physical Review D*, v 7, n 4, 1973, p 1099-1106.
- BEL, L. Y JESÚS MARTÍN, "Approximate solutions of Predictive Relativistic Mechanics for the Electromagnetic Interaction II", *Physical Review D*, v 8, n 12, 1973, p 4347-4353.
- BEL, L. Y J. MARTÍN, "Approximate solutions of Predictive Relativistic Mechanics for short-range scalar interactions", *Physical Review D*, v 9, n 10, 1974, p 2760-2766.
- BEL, L. Y J. MARTÍN, "Formes hamiltoniennes et systèmes conservatifs", *Annales de l'Institut Henri Poincaré, section A*, v 22, nº 3, 1975, p 173-199.
- BEL, L. Y J. MARTÍN; "Predictive relativistic mechanics of systems of N particles with spin" *Annales de l'Institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, 33 no. 4, 1980, p. 409-442.
- BEL, L. Y J. MARTÍN; "Predictive relativistic mechanics of systems of N particles with spin. II. The electromagnetic interaction", *Annales de l'Institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, v 34 nº 2, 1981, p 231-252.
- BEL, L. Y XAVIER FUSTERO; "Mécanique relativiste prédictive des systèmes de N particules". *Annales de l'Institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, 25 no. 4, 1976, p. 411-436.
- BEL, L., T. Damour, N. Deruelle, J. Ibañez y J. Martín; "Poincaré-invariant gravitational field and equations of motion of two pointlike objects: The postlinear approximation of general relativity", *General Relativity and Gravitation*, v 13, 1981, p 963-1004.
- BEL, L. Y ESCARD; "Problemes d'interpretation des  $ds^2$  stationnaires, rigides ou conformement rigides", *Rend. Accad. Nazionale del Lincei*, ser VIII, v 41, fasc 6, 1966, p 476-486.
- BEL, L. Y ADNAN HAMOUI; "Les conditions de raccordement en relativité générale", *Annales de l'Institut Henri Poincaré, section A Physique théorique*, v 7 nº. 3, 1967, p. 229-244.
- BELDA VILLENA, ENRIQUE; *Mecánica pura y sus aplicaciones técnicas*, Imprenta editorial moderna, Bilbao, 1944.
- BELDA, E.; *Mecánica clásica y moderna*, Imprenta editorial moderna, Bilbao, 1950.
- BENÍTEZ, WENCESLAO; "El universo sideral", *Las Ciencias*, nº 3, 1943, p 505-534.
- BENÍTEZ, W.; "Expedición a Guinea para la observación del eclipse total de sol del 25 Febero 1952", *Urania*, nº 234, 1953, p175-187.
- BENTABOL, HORACIO; "Relatividad, un concurso patriótico"; *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, v. XIII, 1923, p 29-30.
- BENTABOL, H.; *Observaciones contradictorias a la teoría de la relatividad del profesor Alberto Einstein*, Madrid, 1925.
- BENTABOL, H.; Entrada "Física" en Suplemento 1934 de *Enciclopedia Universal Espasa*, 1934
- BIEL, JESÚS; "Sobre una transformación entre sistemas inerciales", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v61A, 1965, p293-304.
- BIEL, J; "Algunas conclusiones de las transformación naturales", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 61A, 1966, p305-310.

- BIEL, J; "Analogía entre transformaciones de Lorentz y las que diagonalizan los hamiltonianos", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v62A, 1966, p 119-127.
- BIOSCA, FRANCISCO; "Relatividad. Teoría de la ", *Gran Enciclopedia Durvan*, Apéndice t 21, Bilbao, 1967, p 947-948.
- BONA GARCÍA, CARLOS; *Interacció de dos dions en mecànica relativista predictiva*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, 1977.
- BONA, C., X. FUSTERO Y L. MAS; "Dyon-Dyon interaction in predictive relativistic mechanics", *Physical Review D*, v 18, nº 12, 1978, p 4470-4479.
- BORN, MAX; *La teoría de la relatividad de Einstein y sus fundamentos físicos*: (traducido por Manuel García Morente, prólogo de Ortega y Gasset), Calpe, Madrid, 1922.
- BOYA, LUIS Y JOSÉ M. CERVERÓ; "Contact Transformations and Conformal Group. I. Relativistic Theory", *International Journal of Theoretical Physics*, v 12, nº1, 1975, p 47-54.
- BOYA, L. Y JOSÉ AZCÁRRAGA; "A group theoretical derivation of Maxwell equations", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v63A, 1967, p 143-146.
- BURGALETA, VICENTE; "Fundamentos de la dinámica", *Anales ICAI*, 1922, p 392-398.
- BURGALETA, V.; "Una paradoja relativista", *Madrid Científico*, nº 30, 1923, p 66-68.
- CABRERA, BLAS; "La teoría de los electrones y la constitución de la materia" (sesión de 26-10-1908 del Congreso de la AEPC celebrado en Zaragoza), *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, sec.c. fisico-químicas, 1909, p 259-290.
- CABRERA, B.; "El éter y sus relaciones con la materia en reposo", *Discurso recepción de la R. Acad. Ciencias de Madrid*, Madrid, 1910, p 1-70.
- CABRERA, B.; "Reseña de M. Abraham 'Sobre la teoría de la gravitación' ", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 12, segunda parte: extractos de revistas, 1912, p 108-109.
- CABRERA, B.; "Principios fundamentales de análisis vectorial en el espacio de tres dimensiones y en el Universo de Minkowski", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1912-1913 (Reeditado como libro independiente por Amigos de la cultura científica, Madrid,1996).
- CABRERA, B.; "Reseña sobre Van der Waals 'Energía y masa' ", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 11, 1913, p 16.
- CABRERA, B.; "Reseña sobre Max Plank 'Nuevos senderos del conocimiento físico' ", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 12 segunda parte, extractos de revistas, 1914, p 191-195.
- CABRERA, B.; *Aplicación a la física de la geometría de las cuatro dimensiones*, Instituto de Ingenieros Civiles, 1914 (Aparece en González de Posada, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad; con 8 artículos de Blas Cabrera*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid, 1995).
- CABRERA, B.; *Qué es la electricidad*, Publicaciones Residencia de Estudiantes, Madrid, 1917.
- CABRERA, B.; "Conferencias sobre Relatividad en la Universidad de Madrid", *Ibérica*, 1921, p 306-307, 324-325, 356-357, 371-373, 387-389.
- CABRERA, "Momento actual de la física, discurso leído en la solemne sesión inaugural del curso académico de 1921-22, el día 13 de Noviembre de 1921". *Discursos de la R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1921, p 7-30.
- CABRERA, B.; *La teoría de la relatividad*, Sociedad Oceanográfica de Guipúzcoa, 1921 (Aparece en González de Posada, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad*, Madrid, 1995).
- CABRERA, B.; *Principio de Relatividad. Sus fundamentos experimentales y filosóficos y su evolución histórica*, Residencia de Estudiantes, Madrid, 1923 (reedición en Amigos de la Cultura Científica, Madrid, 1999).

- CABRERA, B.; "Discurso de recepción", en *Discursos pronunciados en la sesión solemne que se dignó presidir S.M. el Rey el día 4 de Marzo de 1923, celebrada para hacer entrega del diploma de académico correspondiente al profesor Alberto Einstein*, R. Acad. Ciencias de Madrid, 1923, p 6-15.
- CABRERA, B.; "Proceso de extensión del conocimiento", *Revista de Occidente*, 1927, p 3-35.
- CABRERA, B.; "La imagen actual del Universo según la Relatividad", *Revista de Occidente*, 1931 (Aparece en González de Posada, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad; con 8 artículos de Blas Cabrera*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid, 1995).
- CABRERA, B.; "Discurso de contestación a Julio Palacios", *Rev. Acad. Ciencias Madrid*, 1932, p 67-78.
- CABRERA, B.; "Evolución de las ideas en la física", *Ciencia*(México) nº 6, 1945, p. 197.
- CAMENZID, M. "Report on GRG6, The International Conference on Gravitation and Relativity, Copenhagen, 5<sup>th</sup>-10<sup>th</sup> July 1971", *General Relativity and Gravitation*, v 2, nº 4, 1971, p 387-407.
- CAÑAS I BONVÍ; *Optica*, Barcelona, 1915.
- CANAL, RAMÓN; "Colapsos y explosiones estelares, rayos cósmicos y nucleosíntesis", *1ª asamblea de astronomía y astrofísica. Comunicaciones, Tenerife del 8 al 13 de septiembre de 1975*, Instituto Universitario de Astrofísica de la Universidad de la Laguna, 1976, p 739-751.
- CANAL, R.; "Estrellas de neutrones en sistemas estelares dobles" *1ª asamblea de astronomía y astrofísica. Comunicaciones, Tenerife del 8 al 13 de septiembre de 1975*, Instituto Universitario de Astrofísica de la Universidad de la Laguna, 1976, p 823-826.
- CANAL, R.; "Discos de captura en torno a objetos colapsados" *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica, 1977*, v II, 1977, p. 447-450.
- CANAL, R.; "Hidrodinámica post-newtoniana de un colapso estelar" , *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica, 1977*, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz, v II, 1977, p 439-442.
- CANAL, R. Y SCHATZMAN; "Non explosive collapse of white-dwarfs", *Astronomy and Astrophysics*, v 46 (2), 1976, p 229-235.
- CANAL, R. Y J. ISERN; "Explosiones estelares" , *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica, 1977*, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz, Tomo II, 1977, p 443-446.
- CASASÚS LATORRE, LUIS; "Trayectorias de fotones y homogeneidad del universo", *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica, 1977*, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz, v II, 1977, p 541-548.
- CAPELLA, ALFONSO.; "Sur la quantification du champ électromagnétique libre en relativité restreinte", *Comptes Rendus Acad. Sciences Paris*, v 251, 1960, p 636-638.
- CAPELLA, A.; "Sur la quantification du champ de gravitation", *Cahiers de Physique*, v 16, nº 137, 1962, p 16-24.
- CAPELLA, A.; "Sur le tenseur impulsion-energie du champ de gravitation", *Cahiers de Physique* v 16, nº 144, 1962, p 330-344.
- CAPELLA, A.; "Impulsion-energie et spin du champ de gravitation, en théorie quantique, à l'approximation linéaire" *Seminaire Janet, Mécanique analytique et mécanique celeste*, v 6, nº 4, 1962-1963, p 1-9.
- CAPELLA, A. "Théorie minkowskienne de la gravitation", *Comptes Rendus Acad. Sciences Paris*, v 258, 1964, p87-89.
- CAPELLA, A.; "Teorías minkowskianas lineales de la gravitación", *Actas de la I reunión de Física teórica*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Santander, 1965.



- CAPELLA, A.; "Cuantificación del campo gravitatorio" *Actas de la I reunión de Física teórica*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Santander, 1965.
- CAPELLA, A. "Sur les théories minkowskiennes de la gravitation", *Comptes Rendus Acad. Sciences Paris*, v 260, 1965, p1341-1344 (También aparece como "Flat theory of gravitation", *il Nuovo Cimento*, v 42, nº 2, 1966).
- CARRASCO, PEDRO; *Teoría de la relatividad*, Publicaciones Ateneo de Madrid, 1915.
- CARRASCO, P.; "Estado presente de la teoría de la relatividad. El Eclipse de Sol del 29 de Mayo de 1919. Consecuencias de las ultimas observaciones", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v18, segunda parte, 1920, p 67-93.
- CARRASCO, P.; *Filosofía de la Mecánica*, editorial Paez, Madrid, 1928.
- CARRASCO, P.; *La nueva física*, ediciones El Nacional, México, 1941.
- CASARES ROLDÁN; *Refutación de los fundamentos de la Relatividad*, Granada, 1952.
- CASARES ROLDAN, *Hacia una nueva Física. Fascículo I*. Imprenta Urania, Granada, 1953.
- CASARES ROLDAN, *Hacia una nueva Física. Fascículo II, La Energía Cinética y el Movimiento*, Imprenta Urania, Granada, 1953.
- CASTRO BRZECICKI, A.; "Introducción a la Dinámica del punto de masa variable", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 45, 1951, p 45-89.
- CASTRO BRZECICKI, A.; "Las teorías relativistas de Einstein", *Gaceta Matemática*, v 3, 1951, p 18-27.
- CASTRO BRZECICKI, A. "Cosmologías relativistas", *Gaceta Matemática*, v 6, 1954, p 152-159.
- CATALÁ, J, E. VILLAR, P. ZIELINSKY, A. LLEÓ, G. PARDO, R. LLOSÁ Y J.L. GÓMEZ; "Factores que influyen en la determinación del error del campo magnético aplicado a un haz de protones relativistas a partir de su curvatura en emulsiones", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 60A, 1964, p 13-18.
- CATALÁN, MIGUEL; Reseña sobre Charles St John 'El principio de relatividad y el desplazamiento de las líneas espectrales de Fraunhofer hacia el rojo', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 16 revistas, 1918, p 19-23.
- CATALÁN, M.; Reseña sobre Majorana 'El segundo postulado de la teoría de la relatividad', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 16 revistas, 1918, p 65.
- CATALÁN, M.; Reseña sobre Saha 'límites de interferencia en el interferómetro de Fabry-Perot', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v16 revistas, 1918, p 116.
- CERVERÓ, JOSÉ M. Y P.G. ESTEVEZ; "General Solutions for a Cosmological Robertson-Walker Metric in the Brans-Dicke Theory", *General Relativity and Gravitation*, v 15, nº 4, 1983, p351-356.
- CERVI, JUAN CARLOS; "Emisión asimétrica de electrones en el Cobalto-60", *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v 57, 1964, p 745.
- CERVI, J.C.; *El pensamiento vivo de Julio Palacios*, Instituto privado de investigaciones físicas y biofísicas, Córdoba, R. Argentina, 1972.
- CIUDAD PLATERO, JUAN Y ÁLVARO LÓPEZ GARCÍA; "Evolución dinámico-cosmológica del sistema tierra-luna", *1ª asamblea de astronomía y astrofísica. Comunicaciones, Tenerife del 8 al 13 de septiembre de 1975*, Instituto Universitario de Astrofísica de la Universidad de la Laguna, 1976, p 93-101.
- C.M.; "Conferencias de Física Matemática en Madrid" (Reseñas sobre conferencias de Blas Cabrera, *Ibérica*, 1916, p 46-47, 114, 175-176, 333-335.

- CODINA VIDAL; "La investigación radioastronómica en las longitudes de onda centimétricas", *Memorias de la R. Acad. Ciencias y Artes de Barcelona*, v 35, nº 3, 1964, p 71-123.
- CODINA VIDAL; "Contribución de las técnicas espaciales a la investigación astronómica", *Memorias de la R. Acad. Ciencias y Artes de Barcelona*, 1968, p 25-73.
- COLINO, ANTONIO; "Una introducción a la teoría de la relatividad", *INE, Revista Española de Electrónica* 1961, p 167 a 173.
- COLINO, A.; "El Universo", *INE. Revista Española de Electrónica*, 1965, p25-30, p 105-111, p 213-216. (Es el mismo que "El Universo: notas de un aprendiz de cosmología", discurso inaugural del curso 1964-1965, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1964).
- COMAS SOLÁ, JOSÉ; "Desplazamiento rápido de estrellas revelados por la fotografía". *Rev. de la Soc. Astronómica de España y América*, 1915, p 25-27 y 39-42.
- COMAS SOLÁ, J.; "Consideraciones sobre el principio de la relatividad y la teoría emisivo-ondulatoria de la energía radiante", *Boletín del Observatorio Fabra*, nº sep. y oct. 1919, p 62-68.
- COMAS SOLÁ, J.; "Comentarios sobre la teoría de la relatividad", *Boletín del Observatorio Fabra*, nº Julio a Oct. 1920, p 122-129.
- COMAS SOLÁ, J. "Evolución científica", *Rev. de la Soc. Astronómica de España y América*, 1921, p 66-67.
- COMAS SOLÁ, J. "La energía y la radiación del Sol", *Rev. de la Soc. Astronómica de España y América*, 1922, p 19-21.
- COMAS SOLÁ, J. "Procedimiento astronómico para revelar el movimiento absoluto de nuestro sistema solar, en el caso de existir este movimiento absoluto", *Boletín del Observatorio Fabra*, nº7, 1922, p 150-153.
- COMAS SOLÁ, J. " Otro método para obtener el valor del movimiento absoluto de la Tierra", *Boletín del Observatorio Fabra*, nº7, 1922, p 154.
- COMAS SOLÁ, J. "Las conferencias del profesor Einstein" *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, v 8, 1923, p 20-21.
- COMAS SOLÁ, J. "Generalidades sobre la teoría emisivo-ondulatoria de la energía radiante", *Rev. de la Soc. Astronómica de España y América*, v 8, 1923, p 35-36.
- COMAS SOLÁ, J. "Noticias sobre la desviación de las imágenes de las estrellas durante el eclipse del 21 de septiembre de 1922", *Rev. de la Soc. Astronómica de España y América*, v 8, 1923, p 63.
- COMAS SOLÁ, J.; "Consideraciones sobre nuestro universo", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, v 8, 1923, p 77-79.
- COMAS SOLÁ, J.; "Abstracción y realidad", Discurso inaugural del año académico 1924 a 1925, sesión 24-X-1924, *Memorias de la Real Academia de Ciencias de Barcelona*, v 18, 1924, p475-481.
- CORRAL, JOSÉ ISAAC; *Mecánica no-newtoniana de tipo elíptico*, *Memorias R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1929.
- CORTES AZCOITI, JOSÉ LUIS; *Estudio relativista de las desintegraciones electromagnéticas y débiles de baryones en el modelo quark*, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 1977.
- CRAWFORD, FRANKS; "Experimental verification of the Clock-Paradox of Relativity", *Nature*, v 179, 1957, p 35-36.
- CULLWICK; "Inverse-square law in the theory of relativity", *Electronics & Power*, sec. "Letters to the Editor", Dic. 1964, p 451.

- DE BROGLIE, LUIS; "Sobre la inercia de la energía", *Euclides*, v 8, nº 83, Enero 1948, p 1-4.
- DE GREGORIO, ANTONIO; "Sobre la relación de la materia con el éter cósmico", *Memorias Real Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, 1925, p 223-227.
- DE RAFAEL, EDUARDO. "Test for the spin of the  $\pi$  (1310) resonance from its decay angular distributions", *Physics Letters*, v 11, nº 3, 1964, p 260-261.
- DE RAFAEL, ED.; "Correlaciones angulares: aplicación al estudio de partículas y resonancias", *Actas de la I reunión de Física teórica*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Santander, 1965.
- DE RAFAEL, ED. Y CLAUDE HENRY, "Relativistic theory of angular correlations in successive two-body decays og unstable particles", *Ann. Inst. Henri Poincaré*, vol. II, nº 2, 1965, p. 87-104.
- DE RAFAEL, ENRIQUE.; "De relatividad. Apuntes con ocasión de las conferencias de E. Terradas en el Institut", *Ibérica*, 1921, nº 364, p 89-91, nº 372, p 218-221, nº 382, p 376-379, nº 403, p306 nº 404, p 324, nº 406, p 356, 371 y 387-388.
- DE RAFAEL, EN.; "La teoría del experimento de Michelson. Conferencia del 30-6-1921 en el congreso de Oporto de la Asoc. Española Para el Progreso de las Ciencias", *Actas Congreso Asoc. Esp. Progreso Ciencias*, sec. c. físico-quím. v 5, 1922, p 87-108.
- DE RAFAEL, EN.; Reseña sobre Einstein, "Teoría de la relatividad especial y general", *Ibérica*, v 16, 1922, p 400.
- DE RAFAEL, EN.; "Nociones de mecánica clásica y relativista (conferencias semanales en el Instituto Católico de Artes e Industrias en el curso 1921-1922", *Anales de la Asociación de ingenieros ICAI*, v 1, Fasc. 1º, 1922, p 20-26, 124-130, 179-188, 413-417, 538- 542, 1923, p 66-71, 157-164, 273-276.
- DE RAFAEL, EN.; "Sobre la influencia del índice de refracción en el corrimiento de las rayas previsto en el experimento de Michelson", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* 1922, v 20, p 221-223.
- DE RAFAEL, EN.; "La Teoría de la Relatividad", *Razón y Fe*, v 64, 1922, p 344-359.
- DE RAFAEL, EN.; "El profesor Alberto Einstein en Madrid", *Anales ICAI*, 1923, p 160-164.
- DE RAFAEL, EN. "El valor objetivo de los conocimientos y teorías científicas" *Discurso de recepción*, *R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1943, p 5-85.
- DEMOTSOPOULLOS; "Spot a falacy", *Electronics and Power*, sec. "letters to the editor", Mayo, 1964.
- DIAZ BEJARANO; "El experimento de Trouton y Noble en la teoría de la relatividad de Palacios"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v56A, 1960, p 225-236.
- DINGLE, "Relativity and space travel", *Nature*, 28 Abril 1956, v 173, p 782-784, p 785 (Réplica a McRea), v 178, 29 Sept 1956, p 680-681.
- DIRAC, "Quantum Mechanics and the Aether" *The Scientific Monthly*, v 78, 1954, p 142.
- DOMENECH Y ESTAPÁ, JOSÉ; "Discurso de contestación a Esteban Terradas en su recepción como miembro de la Acad. Ciencias Barcelona el 15-3-1909", *Memorias R. Acad. Ciencias y Artes de Barcelona*, 1909, v 7, p 463-472.
- DOMINGO Y QUILEZ, JOSÉ; "Los últimos descubrimientos en la física", *Boletín de la Universidad de Granada*, nº 28, Abril 1934, p 117-136
- DOMINGO Y QUILEZ, J. "Acerca de la explicación no relativista del desplazamiento de las rayas del espectro en las nebulosas espirales. El universo cíclico en explosión". *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 33, 1935, p 831.

- DOMINGO Y QUÍLEZ, J.; *Estructura, expansión y evolución del universo*, Traveset, Granada, 1935.
- DOPORTO, M.; Reseña sobre Michelson y Gale 'El efecto de la rotación de la Tierra sobre la velocidad de la luz', *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 23, segunda parte Revistas y Resúmenes, 1925, p 167-168.
- DOPORTO; Reseña sobre Swan 'La teoría de Stokes-Planck y el experimento de Michelson-Morley', *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 23 segunda parte Revistas y Resúmenes, 1925, p 314.
- DOPORTO; Reseña de Eve 'Pruebas de la teoría de la relatividad', *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 24 segunda parte Revistas y Resúmenes, 1926, p 97.
- DOPORTO; Reseña de Thirring 'Los experimentos del Prof. Miller sobre el desplazamiento del éter', *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, 1926, v 24, secc. resúmenes trabajos de Física, p 158.
- DOPORTO; Reseña sobre Home 'Tres frecuencias fundamentales', *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 24, 1926, p 86.
- DOPORTO; Reseña sobre Jauncey 'La conservación de la cantidad de movimiento y el principio Doppler', *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* v 24, 1926, p 85-86.
- D'ORS, EUGENIO; *Las aporías de Zenon de Elea y la noción moderna de espacio-tiempo*, Tesis Doctoral inédita, Universidad Central, Madrid, 1913.
- D'ORS, E.; "Einstein, su venida a España, su racionalismo" en *Nuevo Glosario I*, Aguilar editor, Madrid, 1947, p 794-797.
- D'ORS, E.; "Los argumentos de Zenón de Elea y la noción moderna del espacio-tiempo", *Theoria*, Madrid, 1953, nº 5-6; p 1-6.
- DRIESCH; *La teoría de la relatividad y la filosofía*, Revista de Occidente, Madrid, 1927.
- DUE ROJO, ANTONIO; "Investigación galáctica moderna", *Las Ciencias*, 1963, p169-184.
- ECHEGARAY, JOSÉ; "Mecánica, hipótesis y crítica", *Nuestro Tiempo*, v 2, 1902, p 918-928.
- ECHEGARAY, J.; "La crítica en Matemáticas", *Nuestro Tiempo*, v 3, 1903, p 17-30.
- ECHEGARAY, J.; "El espacio de muchas dimensiones", *Ciencia popular*, 1905, p 921-927.
- ECHEGARAY, J.; "La Ciencia y la crítica" Discurso inauguración curso 1905-1906 de la Universidad Central, Madrid, 1905 (Aparece en Sánchez Ron, ed. *José Echegaray*, Fundación Banco Exterior, Madrid, 1990).
- ECHEGARAY, J.; "Discurso de contestación a Blas Cabrera" en "Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la recepción pública del Sr. D. Blas Cabrera y Felipe el día 17 de Abril de 1910", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1910, p 73-102.
- ECHEGARAY, J.; "Serie de negaciones", *Madrid Científico*, v 22, 1915, p 341-346 (aparece en Sánchez Ron, *José Echegaray*, 1990).
- EDDINGTON, ARTHUR STANLEY; *Espacio, tiempo y gravitación*, (traducción José María Plans), Barcelona, 1922.
- EDDINGTON, A.; "Rotación Absoluta" *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1923, p 177-186.
- EDDINGTON, A.; *La expansión del universo*, Ed. Revista de Occidente, Madrid, 1933.
- EINSTEIN, ALBERT; "Ether and the theory of relativity", 1920, aparece en *Sidelights on relativity*, Nueva York, 1923.

EINSTEIN, A.; *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*, editorial Toledo, Madrid. Traducción Lorente de No, 1921; (También en *Revista Matemática Hispanoamericana*, v 3, 1921, p 194-199, 231-234, 241-244, v4, 1922, p 1-4, 17-20, 39-43, 55-58).

EINSTEIN, A.; "Discurso de contestación" en *Discursos pronunciados en la sesión solemne que se dignó presidir S.M. el Rey el día 4 de Marzo de 1923, celebrada para hacer entrega del diploma de académico correspondiente al profesor Alberto Einstein*, R. Acad. Ciencias Madrid, Madrid, 1923.

EINSTEIN, A.; "Geometría no euclídea y Física", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v 1, 2ª serie, 1926, p 72-76.

EINSTEIN, A.; "Nuevos experimentos sobre la influencia del movimiento terrestre en la velocidad de la luz con relación a la Tierra". 1927. *Investigación y Progreso*, nº 1, 1927, p 4-5.

EINSTEIN, A. "El problema del espacio, el éter y el campo en la física", 1934, edición en castellano de *Mis Ideas y Opiniones*, Bon Ton, Antoni Bosch editor, Barcelona, 2000, p 251-252.

EINSTEIN, A.; *El significado de la relatividad*, Espasa Calpe, 1948 (1ª edición en español de la edición original de 1922).

ESCANDELL SERRA, DANIEL; "Estudio sobre la expansión del Universo", *Aster*, 1956, p 54-60.

ESSEN; "Spot a falacy", *Electronics and Power*, sec. "letters to the editor", Mayo 1964, p 169.

ESTALELLA; Reseña sobre Raschevski 'Investigaciones críticas acerca de los fundamentos físicos de la teoría de la relatividad' *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* v 21 revistas, 1923, p 115.

ESTALELLA; Reseña sobre Stjepan Mohorovicic 'Eter, materia, gravitación y teoría de la relatividad', *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, 1924.

FERNÁNDEZ, F., J. MEDINA, J. SEQUEIROS, A. VIDAL-QUADRAS, M. ORTEGA Y A. DURA; "Determination of the charge of relativistic heavy primaries in cosmic radiation by photometric and  $\delta$ -ray counting methods", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 72A, 1976, p 38-42.

FANTAPPIE, LUIGI; "Teoría unitaria de la causalidad y finalidad en los fenómenos físicos y biológicos, fundada en la mecánica ondulatoria y relativista", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, v 3, 4ª serie, 1943, p 82-99.

FEBRER CARBÓ, JOAQUIN; "La investigación astronómica en 1961", *Urania*, 1963, p 71-78.

FEBRER CARBÓ, J.; "Discurso de contestación a Codina Vidal en el acto de su recepción en la R. Academia Ciencias y Artes de Barcelona", *Memorias de la R. Acad. Ciencias Barcelona*, 1964, p 124-132.

FERNÁNDEZ, OBDULIO; "Intervención en homenaje a Julio Palacios", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 64, 1970, p649-662.

FERNÁNDEZ BAÑOS, OLEGARIO; "Representaciones reales de los espacios complejos de n dimensiones", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, congreso de Valladolid, v 3, sec. Matemáticas, 1915, p 119-130.

FERNANDEZ FERRER Y E. DE RAFAEL GAVALDÁ; "Campo estacionario con simetría cilíndrica en electrodinámica no lineal de Born-Infeld", *Anales de Soc. Esp. Física y Quím.* v 56 A, 1960, p 273-280.

FERNÁNDEZ, F, J. CASAS VÁZQUEZ, V. PEREZ VILLAR, V. GANDÍA, R. KAISER, R, AIGUABELLA Y R, SCHMITT, "Nuevos métodos de discriminación de trazas de iones cósmicos en emulsiones ionográficas", *Anales de Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 64(A), 1968, p 235-241.

FOLCH, EUGENIO LEÓN; "In promptu. A la memoria de Alberto Einstein", *Aster*, Mayo 1955, p 34-35.

- FOZ, O.R.; "Un aspecto de la materialización de la energía según la teoría de Dirac", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 37, 1941, p 22-24.
- FREUNDLICH, ERWIN; *Los fundamentos de la teoría de la gravitación de Einstein* (prólogo de Alberto Einstein y traducción por José María Plans), Madrid, 1920.
- FUSTERO, XABIER Y R. LAPIEDRA; "Equivalence of two formalisms of predictive relativistic mechanics", *Physical Review D*, v 17, nº 10, 1978, p 2821-2823.
- FUSTERO, X., L. MAS Y R. LAPIEDRA; "Predictive relativistic mechanics of magnetic monopoles and electric charges", *Physical Review D*, v 16, nº 12, 1977, p 3474-3482.
- G.A.; Reseña sobre E. Cartan "Le parallelisme absolu et le théorie unitaire du diamp", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1933, p 444-445.
- GALDON, EDUARDO; "La unión internacional de Radio Científica (URSI)", *Urania*, 1963, p 81-118.
- GALINDO TIXAIRE, ALBERTO; "Notas sobre la inversión temporal"; *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 57-A, 1961, p337-340.
- GALINDO, A.; "On the uniqueness of the position operator for relativistic elementary systems", *il Nuovo Cimento*, v 37, nº 2, mayo de 1965, p 413-422.
- GALINDO, A.; "Lie Algebra Extensions of the Poincare Algebra"; *Journal of Mathematical Physics*, v 8, 1967, p 768-774.
- GALINDO, A "Propagación instantánea en los sistemas cuánticos"; *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* v 64A, 1968 p 141-147.
- GALINDO, A.; "Agujeros negros: dinámica clásica, muerte cuántica", *Conmemoración del centenario de Einstein*, R. Acad. Ciencias Madrid, Madrid, 1979.
- GALINDO, A.; "Colapso gravitacional y agujeros negros" en *Soluciones exactas en relatividad general. Colapso gravitacional y agujeros negros*, Editorial Universidad Complutense, Madrid, 1983.
- GALINDO, A. Y P. PASCUAL; "On the electromagnetic form factor normalisation", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 62-A, 1966, p109-113.
- GALINDO, A. Y P. PASCUAL; "Some remarks on the relativistic wave equations", *il Nuovo Cimento*, v 31, nº 1 enero de 1964, p 132-139.
- GALINDO, A. Y SÁNCHEZ DEL RÍO; "Intrinsic magnetic moment as a nonrelativistic measurement", *American Journal Physics*, v 29, 1961, p 582.
- GALLEGO-DÍAZ, JOSÉ; "El hombre Einstein"; *Physicalia*, nº 19, 1955, p 11-13.
- GALLEGO-DÍAZ, J.; "Einstein tenía razón"; *ABC*, 8-11-1963, p 21.
- GÁLVEZ LAGUARDA, EDUARDO; "El efecto de aberración astronómica y su interpretación en la hipótesis de que el éter exista y sea arrastrado por los cuerpos en movimiento", *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*. 1931, p 42-45.
- GÁLVEZ LAGUARDA, E.; "Interpretación del resultado de la experiencia de Michelson-Morley con arreglo a las teorías clásicas", *Academia de Ciencias de Zaragoza*, 1931, p 46-48.
- GÁLVEZ LAGUARDA, E.; "El confusiónismo terminológico en la Física y la Filosofía", *Physicalia*, nº 20, Enero 1956, p 2-4.
- GAMBI FERNÁNDEZ, JOSÉ M.; *Movimientos rígidos en relatividad*, Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid, 1976.
- GARCÍA, A., "El Instituto de Física Corpuscular de la Facultad de Ciencias de Valencia", *Physicalia*, nº 47, 1965, p 5-7.
- GARCÍA, JUAN; "Sobre la teoría del espacio"; *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 36, 1942, p 263-295.

- GARCÍA BACCA, JUAN DAVID; "Historia filosófica de la Física, como serie de inventos conceptuales", *Teoría*, 1953, nº5-6, p 33-48.
- GARCÍA DE GALDEANO, ZOEL; "Correlaciones matemático-físico-químicas" . *Revista de la Sociedad Matemática Española*, 1915 a 1917, lección 5ª, v5, 1915, p 257-263; lección 7ª, 1916, p 293-297.
- GARCÍA ESTEVEZ, PILAR; *La invariancia conforme en gravitación y cosmología*, Universidad de Salamanca, Dpto de Física Teórica, Salamanca, 1983.
- GARCÍA ESTEVE, JOSÉ VICENTE; *Desintegraciones electromagnéticas y débiles de mesones en un modelo quark relativista*, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza 1979.
- GARCÍA GONZALO, LUIS; *Estudio clásico de un modelo relativista de partícula*, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 1978.
- GARCÍA LAHOZ; "Acerca del corrimiento gravitacional al rojo", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 68A, 1972, p 151-152.
- GARCÍA LAHOZ; "Acerca de la onda fotónica", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 69A, 1973, p 245-258.
- GARCÍA MORENTE, MANUEL; "Apéndices explicativos a *Espacio y Tiempo en la Física actual* de Moritz Schlick", Calpe, Madrid, 1921.
- GARCÍA PÉREZ, PEDRO LUIS; "Geometría simpléctica en la teoría clásica de campos", *Collectanea Mathematica*, 1968, p 73- 134.
- GARCÍA PÉREZ, P.L.; "Estructura compleja en la teoría clásica de campos", *Collectanea Mathematica*, 1968, p 155-175.
- GARRIDO ARILLA, LUIS MARÍA; "Propagador del nucleón", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 54A, 1958, p 143-160.
- GARRIDO, L.M.; "Propagador del nucleón II. Conversión de las ecuaciones funcionales del campo nuclear", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 54-A, 1958, p161-162.
- GARRIDO, L.M.; "Las partículas elementales según Heisenberg", *Physicalia*, nº 31 1958, p 5-14.
- GARRIDO, L.M.; "Cinemática cuántica relativista", *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*, tomo 13, fasc 2º, 1958, p 197-263; tomo 14, fasc. 1, 1959, p 9-72.
- GARRIDO, L.M.; "El electron de la interacción universal de Fermi"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* 55-A, 1959, p 5-12.
- GARRIDO, L.M.; *Mecánica Cuántica*, Rialp, Madrid, 1963.
- GARRIDO, L.M.; "Mecánica Clásica en el Espacio de Hilbert", *Collectanea Mathematica*, 1961, p 219-240.
- GARRIDO, L.M. y J. SESMA; "Observables de partículas relativistas", *Collectanea Mathematica*, 1962, p 279-286; (Versión inglesa en *American Journal Physics*, v 30, 1962, p 887).
- GARRIDO, L.M y L. Oliver; "On the Foldy-Wouthuysen Transformation for Particles in an Electromagnetic Field", *il Nuovo Cimento*, v 52 A, nº2, 1967, p 588-605.
- GARRIDO, L.M y P. PASCUAL; "Diagonalization of Hamiltonian", *il Nuovo Cimento*, v 12, nº 3, serie decima, 1959, p 181-190.
- GARRIDO ARILLA Y P. PASCUAL; "El electrón de la interacción universal de Fermi", *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, serie A Física, v 55A, 1959, p 5-12.
- GASCON; "Un principio de acción para la mecánica relativista", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 57-A, 1961, p 253-256.
- GASTARDI, E.; "La evolución estelar", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1950*, 1949, p 297-377.

- GODED ECHEVARRÍA, FEDERICO; "Comprobación aproximada del potencial no-estático producido por la partícula  $\pi^+$ ", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 66, 1972, p 389-425.
- GODED, F.; "Elementary particle fields in a curved Riemann space; a unified theory", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 67, 1973, p 411-439.
- GODED, F.; "Structure, potentials, and state vectors of free central static gravitational fields", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 67, 1973, p 441-466.
- GODED, F.; "The perihelic shift of Mercury, Venus and the Earth and the deflection of light rays grazing the sun. New relativistic computations and some of their conceptual implications", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 67, 1973, p 573-598.
- GODED, F.; *Relatividad general: estado actual y tendencias previstas*; CSIC, Instituto de España, Madrid, 1974.
- GODED, F.; "Gravedad en el espacio no vacío", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 69, 1975, p 41-48.
- GODED, F.; "Einstein and Newton's theories within the same formulation of the gravitational field", *General Relativity and Gravitation*, v 6, nº 1, febrero 1975, p115-118.
- GODED, F.; "Cosmological model imposed by a unified theory", *General Relativity and Gravitation*, v 6, nº 1, febrero 1975, p119-121.
- GODED, F.; "Movimiento radial de partículas con masa en reposo no nula en una geometría de Schwarzschild", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 70, 1976, p 695-708.
- GODED, F.; *Introducción a la historia de la física del siglo XX*; UNED, Madrid, 1978.
- GODED, F.; "Cosmologías relativistas y algunas de sus implicaciones filosóficas", en *Conmemoración del centenario de Einstein. Curso de conferencias desarrolladas durante los meses de marzo a mayo de 1979*, Real Acad. Ciencias Madrid, 1979 (2ª edición 1987).
- GOICOECHEA, J.M.; "Las teorías de Einstein sin matemáticas", *Revista Calasancia*, 1923, p 468-489.
- GOICOECHEA, JOSÉ MARÍA DE; "Crítica de las teorías de Einstein", *Revista Calasancia*, 1923, p 563-585.
- GOICOECHEA, J.M.; *Las teorías de Einstein y su crítica (conferencias en el ateneo)*, Madrid, 1923.
- GONZALEZ-CASCON,; "Special relativity with a discrete spectrum of singular velocities", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 73A, 1977, p 151-158.
- GOODINSON, P.A.; "The electromagnetic tensor in riemannian space-time", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 65A, 1969, p 351-354.
- GOODINSON, P.A.; "Null field solutions of the Einstein-Maxwell field equations", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 65A, 1969, p 355-358.
- GRACIA BONDÍA, *Los objetos cuasiestelares y la teoría cinética de la cosmología*, Tesis Doctoral, UAM Madrid, 1974.
- GÜELL LÓPEZ, EUSEBIO; *Espacio, relación y posición. Ensayo sobre los fundamentos de la geometría*. Calpe, Madrid, 1924.
- GULLÓN, ENRIQUE; "El origen del calor solar", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1946*, 1945, p 297-361.
- GULLÓN, E.; "Las estrellas enanas blancas", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1958*, 1957, p 311-360.
- GULLÓN, E.; "Las estrellas enanas blancas", *Urania*, nº 254, 1961, p167-182.



- GUTIÉRREZ, ENRIQUE; "La teoría de Dirac en la nueva mecánica ondulatoria", *Anales de Mecánica y Electricidad. Revista de los ingenieros del ICAI*, v 20, nº 166, May-Jun1943, p135-141; v 20, nº 167, Jul-Ago 1943, p 218-223.
- GUTIÉRREZ, E.; "Los positrones y los estados de energía negativa de la teoría de Dirac", *Anales de Mecánica y Electricidad. Revista de los ingenieros del ICAI*, v 21, nº 174, Septiembre-Octubre 1944, p 249-259.
- HADAMARD; "Sobre la representación gráfica del espacio de 4 dimensiones", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v6,1924, p265-269.
- Henry, Claude y Eduardo de Rafael; "Relativistic theory of angular correlations in a successive two-body decays of unstable particles", *Ann. Institut Henri Poincaré A*, v 2, nº2, 1965, p87-104.
- HERRANZ, ANTONIO; "El corrimiento al rojo de las rayas espectrales", *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v 60, 1966, p 597-599.
- HERRANZ, A.; *Algunas consecuencias de la teoría de la relatividad de Palacios*, Tesis doctoral, Universidad de Madrid, Facultad de Ciencias, 1969.
- HERRANZ, A. Y JULIO PALACIOS; "Estudio del corrimiento hacia al rojo en la teoría de la gravitación de Palacios, mediante las longitudes de onda"; *Anales de Soc. Esp. Física y Quim.*, v 67A, 1971, p. 397-399.
- HERRERA, EMILIO; "Relación de la hipergeometría con la mecánica celeste", *Memorial de Ingenieros del ejército*, Madrid, Octubre 1916, v 33, p 371-388.
- HERRERA, E.; "Relación de la hipergeometría con la mecánica celeste II", *Memorial de Ingenieros del ejército*, Madrid, 1917, v 34, p 221-235.
- HERRERA, E.; "Algunas consideraciones sobre la teoría de la relatividad de Einstein. Conferencia del 30-6-1921 en el congreso de Oporto de la AEPC", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, 1921, sec. c.físico-químicas, p 129-140.
- HERRERA, E. "Una paradoja relativista", *Madrid Científico*, nº 1083, 1923, p 35.
- HERRERA, E. "La intuición y la ciencia", *Madrid Científico*, nº 1082, 1923, p 17-19.
- HERRERA, E.; "El Universo y la hiperdinámica". *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 32, 1934, p 109-127.
- HERRERA, E. "Martínez-Risco y la relatividad", *Revista Izquierda Republicana*, (México),1954, año XV, nº 93, México, nov-dic 1954.
- HERRERA, E.; "¿Transcurre más despacio el tiempo en una astronave?", *Ciencia aeronáutica y astronáutica*, Caracas, nº 72, noviembre 1960, p 9-12.
- HERRERA, E.; "El tiempo en una astronave" *Ciencia aeronáutica y astronáutica*, Caracas, nº 73, diciembre 1960, p 7-9.
- HERRERA, E.; "L'Universe de Descartes", *Le Génie Civil*, París, v 140, jul., ago. sept. y dic. 1963.
- HERRERA, E.; "La vitesse de la lumière par rapport aux corps en mouvement", *Le Génie Civil*, v 140, 1963, p 262-264.
- HERRERA, E.; Carta a Julio Palacios, París, 7-10-1963, *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial, Fondo Herrera*, Registro nº 413 (serie 421).
- HERRERA, E.; Carta a Julio Palacios, París, 26-11-1963, *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial, Fondo Herrera*, Registro nº 417 (serie 421).
- HERRERA, E.; Carta a Julio Palacios, París, 27-10-1963, *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial, Fondo Herrera*, Registro nº 414 (serie 421).
- HERRERA, E.; *Memorias* (Manuscrito 1967), edición de Thomas F. Glick y José M. Sánchez Ron, Ediciones Universidad Autónoma de Madrid, 1986.

- HUERTAS, ATAULFO; "la Relatividad de Einstein", *Revista Calasancia*, 1923, p 241-254, 290-309, 369-384.
- HURTADO ACERA, LUIS; "Magnetismo, electricidad y gravitacion", *Las Ciencias*, nº 4, 1943 p 685-704.
- IBAÑEZ MEDRANO, JESÚS; *Aproximación de movimiento rápido en relatividad general*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 1979.
- IBEAS, BRUNO; *Las teorías de la relatividad de A. Einstein*, Bruno del Amo, Madrid, 1922.
- IÑIGUEZ ALMECH; *Mecánica cuántica*, Academia de Ciencias de Zaragoza, 1949.
- IÑIGUEZ ALMECH; *El enigma del mundo físico en la mecánica moderna. Lección inaugural 1951-1952*, Universidad de Zaragoza, 1951.
- IÑIGUEZ ALMECH; "Aspecto actual de la mecánica teórica. Discurso leído en la sesión inaugural del curso 1953-54", *Rev. de la Acad. de Ciencias de Zaragoza*, v8, nº 2, 1953, p 5-19.
- IÑIGUEZ ALMECH Y RAFAEL CID PALACIOS, *Mecánica teórica clásica y relativista*, ed. Dossat, Madrid, 1965.
- J.R.; Reseña sobre L. De Broglie 'El Universo de cinco dimensiones y la Mecánica ondulatoria' *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, v 25, segunda parte: revistas y resúmenes, 1927, p 68.
- JAGGER; "Spot a falacy", *Electronics and Power*, sec. "letters to the editor", Abril 1964, p 134.
- JIMÉNEZ-LANDÍ, PEDRO; "En la muerte de Einstein"; *Physicalia*, nº 19, 1955, p13-15.
- JIMÉNEZ-LANDÍ; "En torno al problema de un Observatorio nacional", *Physicalia*, nº 22, 1956, p 3-5.
- KANTOR, "Direct First-Order Experiment on the Propagation of Light from a Moving Source", *Journal of the Optical Society of America*, v52, nº9, Sept 1962, p 978-984.
- KRZYWOBLOCKI; "Energy Principle vs. Mach Principle", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 59, 1965, p 501-506.
- KUNDANMAL SUKHWANI, PREM; "Modelos teóricos de curvas de luz. Su aplicación al sistema *Beta Lyrae*", *Urania*, nº 284, Julio-Diciembre 1975, p 1-56.
- LABAY, JAVIER; "Procesos neutrínicos y evolución de núcleos estelares degenerados" // *Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, 1977 (Tomo II), p 451- 458.
- LAGASCA, FAUSTO; *En torno a un rayo de luz*, Almería 1922.
- LAÍN ENTRALGO, "Intervención de D. Pedro Laín Entralgo en homenaje a Julio Palacios", *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, 1970,v 64, p 681-689.
- LANGEVIN, P. Y JULIO PALACIOS; "Deducción de la mecánica a partir del principio de conservación de la energía y de la regla de composición de velocidades". *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 32, 1934, p 4-19.
- LAPIEDRA, RAMÓN; *Mecánica relativista predictiva de dos cuerpos e invariancia por paridad*, Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 1973.
- LAPIEDRA, R.; *Les equacions de la mecànica relativista predictiva. Una família de solucions*, Societat catalana de Ciències físiques, químiques i matemàtiques, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 1976.
- LAPIEDRA, R. "Sur les équations d'ordre supérieur du champ gravitationnel", *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, v 11 nº 3, 1969, p. 277-307.
- LAPIEDRA, R.; "Le champ électromagnétique singulier généralisé dans l'espace-temps de Schwarzschild", *Annales de l'institut Henri Poincaré (A)*, v12, nº 2, 1970, p 183-213

- LAPIEDRA, R. Y L.MAS; "Tyme-symetric classical electrodynamics for two particles up to order  $1/c^5$ ", *Physical Review D*, v 13, n 10, 1976, p 2805-2810.
- LAPIEDRA, R. Y MUSSONS; "On momentum and angular momentum in predictive relativistic mechanics", 109-113, *Anales de la Soc. Esp. Física y Quim., serie A Física*, v 72A, 1976, p 109-113.
- LAPIEDRA, R. Y A. MOLINA,; "Classical predictive electrodynamics of two charges with radiation: General framework. I", *J. Math. Phys.* v 20, 1979, p 1308.
- LAPIEDRA, R., F. MARQUÉS, Y A. MOLINA; "Classical predictive electrodynamics of two charges with radiation: Energy and 3-momentum balance and scattering cross sections. II", *J. Math. Phys.* v 20, 1979, p 1316.
- LEDESMA RAMOS; "Hans Driesch y las teorías de Einstein", *La Gaceta Literaria*, 15-10-1928.
- LEVI-CIVITA; "Cómo podría un conservador llegar al umbral de la nueva mecánica" *Revista Matemática Hispano Americana*, 1920, p 107-176.
- LEVI-CIVITA; "L'optica geomètrica i la relativitat general d'Einstein" en *Questions de mecànica clàssica i relativista*, Institut D'Estudis Catalans, Barcelona, 1921.
- LLEGUET, MARIO ; "Reportaje de la exposición internacional", *Aster*, nº 75, Diciembre 1954, p 194-196, "III exposición internacional de Astronomía (continuación) ", *Aster*, nº 76, Enero 1955, p 2-6; "III exposición internacional de Astronomía (continuación) ", *Aster*, nº 77, Febrero 1955, p 10-13.
- LOPEZ ARROYO, M.; "Espectroscopia astronómica", 1955, *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1956*, 1955, p 311-497.
- LOPEZ ARROYO, M.; "Espectroscopia astronómica II " (Efecto Doppler)", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1960*, 1959, p 309-402.
- LÓPEZ ARROYO, M.; "La espectroscopia en el Observatorio Astronómico de Madrid", *Boletín del Observatorio Astronómico de Madrid*, v 8, nº 2, 1972, p 3-15.
- LÓPEZ RAMOS, ANGEL LUIS; *Análisis de la métrica espaciotemporal en puntos de un dominio finito de un sistema no inercial*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 1976.
- LORENTE DE NO; Reseña sobre Plans "Nociones de calculo diferencial absoluto y sus aplicaciones", *Rev. Matemática Hispanoamericana* v7, 1925, p 206.
- LORENTE DE NO; Reseña sobre Lecat 'Bibliographie de la Relativité', *Revista Matemática Hispanoamericana*, v1, 2ª serie, 1926, p 81.
- LORENTE DE NO; Reseña sobre Laue "La theorie de la relativité", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v1, 2ª serie 1926, p 206.
- LORENTE PARAMO, M.; "La teoría de la relatividad, nuevo paradigma de la ciencia", *Conmemoración del centenario de Einstein en la Real Academia de Ciencias de Madrid*, 1979.
- LUCINI, MANUEL "Sobre una paradoja relativista", *Madrid Científico*, v 30, nº 1084, 1923, p 35.
- LUCINI, M.; "El profesor Einstein", *Madrid Científico*, v 30, 1923, p 65-66.
- LUCINI, M.; *Principios fundamentales de las nuevas mecánicas (relativista, ondulatoria, cuántica)*, Ed. Labor, Barcelona, 1966.
- MARAVALL CASESNOVES, DARÍO; "La aberración y la aceleración de la gravedad", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1947, p 90-95.
- MARAVALL, D.; "Una nueva teoría de desviación de los rayos luminosos y del corrimiento de las rayas espectrales hacia el rojo por la acción de un campo gravitatorio", *Euclides*, vol 10, nº 111-112, Mayo-Junio 1950, p 203-207.

MARAVALL, D.; "La cuantificación del espacio y el tiempo en la mecánica ondulatoria", *Euclides*, vol 10, nº 113-114, Julio-Agosto 1950, p 247-250.

MARAVALL, D.; "La cuantificación de la masa, de la velocidad y de la incertidumbre del reposo absoluto en Mecánica ondulatoria", *Euclides*, v 10, nº 116, 1950, p 336-339.

MARAVALL, D.; "Las consecuencias cosmológicas y cosmogónicas de mi teoría de la discontinuidad de las variables de la mecánica ondulatoria. Cálculo del límite superior de la masa propia del fotón", *Euclides*, v 10, nº117, Noviembre 1950, p 385-389.

MARAVALL, D.; "Cálculo original del número de electrones y de protones del universo. Demostración de que la posición del fotón no es observable en mecánica ondulatoria", *Euclides*, v 10, nº118, Diciembre 1950, p 427-432.

MARAVALL, D.; "Cálculo original del límite superior de la relación masa-radio de los cuerpos materiales y de la densidad del universo en función del radio", *Euclides*, v 11, nº123-124, mayo-junio 1951, p 205-210.

MARAVALL, D.; "Mi teoría de la estructura cosmológica del universo en expansión", *Euclides*, v 11, nº129-130, Nov-Dic1951, p 391-404.

MARAVALL, D.; "El concepto de fuerza y de masa en física y el problema de la geometría natural", *Euclides*, v 11, nº120, Febrero 1951, p 61-65.

MARAVALL, D.; "La explicación de la fuga de las galaxias en mi teoría de la expansión del universo. Variación de la energía de ionización de los rayos cósmicos en función del tiempo", *Euclides*, vol 12, Marzo 1952, p 140-151.

MARAVALL, D.; "La cuantificación de la probabilidad y la imposibilidad física en Mecánica ondulatoria", *Euclides*, vol. 12, nº 136, Junio 1952, p 225-233.

MARAVALL, D.; "La estructura de los medios con simetría axial en la relatividad generalizada. Aplicación a las galaxias", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, 1951, vol 11 4ª serie, p 277-287.

MARAVALL, D.; "La métrica no euclídea del espacio-tiempo en el interior de una masa de fluido barótropro con simetría esférica", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, 1952, p138-50.

MARAVALL, D.; "Teoría relativista de la atracción de una esfera pulsátil o con spin. Aplicación a las cefeidas", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, 1953, 4ª serie, v 13, p 175-187.

MARAVALL, D.; "La solución dinámica del problema del cuerpo único en la teoría de la relatividad. Hipótesis sobre el origen de los rayos cósmicos", *Euclides*, v 13, 1953, p 62-72.

MARAVALL, D.; "Ensayo de teoría unitaria de la gravitación y del electromagnetismo", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, v 15, 1955, p 88-114 y 165-181.

MARAVALL, D.; "Sobre la dinámica de los sistemas de masa variable", *Gaceta Matemática*, v 8, 1956, p 256-262.

MARAVALL, D.; *Mecánica y cálculo tensorial para ingenieros*, Dossat, Madrid 1965.

MARAVALL, D.; "Lógica relativista (Lr). Aplicaciones a las redes", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1966, p 309-328.

MARAVALL, D.; Darío; *Grandes problemas de la filosofía científica*, Editora Nacional, 1973.

MARAVALL, D.; "Sobre los principios de mínimo de la electrodinámica y de la mecánica clásica y relativista", *Revista R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 72, 1978, p 365-383.

MARAVALL, D.; "El espacio y el tiempo antes y después de Einstein", *Conmemoración del centenario de Einstein en la R. Academia de Ciencias de Madrid*, 1979

MARGALEJO, JOSÉ Mª, "Mecánica del sistema planetario", *Aster*, nº 111, Oct-Dic. 1959.

MARTÍN, JESÚS; *Simetría axial en relatividad general. Métrica de Kerr*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 1973.

MARTÍNEZ ALONSO; "La correspondencia entre grupos de invariancia y leyes de conservación para sistemas lagrangianos normales", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 75A, 1979, p 33-36.

MARTÍNEZ SALAS; *Soluciones relativistas al problema cosmológico, Lección inaugural del curso 1965-1966 de la Universidad de Valladolid*, Valladolid, 1965.

MARTÍNEZ SALAS Y GAMBI FERNANDEZ; , "Un concepto de movimiento rígido en relatividad especial", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 75A, 1979, p 3-6.

MARTÍNEZ SANCHO, MARÍA DEL CARMEN; "Notas sobre algunos espacios normales de Bianchi", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, 1925, sec. Matemáticas, p 73-80.

MARTÍNEZ SANCHO, M.C.; "Contribución al estudio de los espacios normales de Bianchi", *Rev. R. Acad.Ciencias de Madrid*, 1927, p 588-603.

MARTÍNEZ-RISCO, MANUEL; Reseña sobre Fery 'Principio de un nuevo método para medir la velocidad de la luz', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 10, 1912, p 410.

MARTÍNEZ-RISCO, M.; Reseña sobre J.Kunz 'Determinación teórica de la variación de la masa del electrón en función de la velocidad', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 11 Revistas, 1913 p 85.

MARTÍNEZ-RISCO, M.; Reseña sobre Sagnac 'El éter luminoso; comprobación de su existencia', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 12 Revistas, 1914, p15.

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "La espectroscopia interferencial y sus métodos. Conferencia leída en la Universidad de Valladolid el 20 de Octubre de 1915". *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias de Valladolid*, v 2, sección c. físicoquímicas, Madrid, 1915, p 203-232.

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Un concepto de aparato interferencial", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, noveno congreso celebrado en Salamanca del 24 al 29 Junio de 1923, sec. Astronomía, 1924, p 5-12.

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Images microscopiques correspondant a un électron illuminé", *Journal de Physique*, v 8, nº 4, 1947, p 123-128 (también como "Imágenes microscópicas correspondientes a un electrón iluminado" en *Ciencia* (México), 1947, p 157-162).

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Les principe de Huyghens dans l'optique des corps en mouvement", *Journal de Physique*, v 8, 1947, p 282-288.

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Images microscopiques produites par un faisceau d'électrons en recul", *Journal de Physique*, v 9, 1948; (también como "Imágenes microscópicas producidas por un haz de electrones en retroceso" en *Ciencia* (México), 1948, p 119-121).

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Ondes planes et ondes sphériques dans les problèmes d'optiques avec mouvement relatif, cas d'un miroir mobile illuminé par un faisceau convergent", *Journal de Physique et le Radium*, serie VIII, v 10, nº4, 1949, p 128-131.

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Concept interférenciel des images optiques móviles, dans la théorie de la relativité", *Comptes rendus de l'Académie Sciences Paris*, v 228, 1949, p 2014-2016; (también como "Concepto interferencial de las imágenes ópticas móviles en la Teoría de la Relatividad" en *Ciencia* (México), 1950, p 23-24).

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Interprétation d'un phénomène interférentiel par des observateurs en mouvement relatif", *Journal de Physique et le Radium*, v 13, nº10, 1952, p 441-444.

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Sur les modifications vectorielles inhérentes à l'effet Doppler pour des ondes se propageant dans un milieu diélectrique", *Journal de Physique et le Radium*, v 14, nº 12, 1953, p 657- 662.

- MARTÍNEZ-RISCO Y P. ZEEMAN; "Comprobación experimental del principio Doppler-Fizeau para la luz", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v28, 1930, p 342-349.
- MAS FRANCH, LLUIS; "Application de la méthode de variation des constantes au problème des deux corps", *C. R. Acad. Sc. Paris*, v 255, 1962, p. 2376-2378.
- MAS, L.; "Étude du problème des deux corps par variation de la métrique de Schwarzschild". *C. R. Acad. Sc. Paris*, v. 262, 1966, p 266-269.
- MAS, L.; "Sur le problème du mouvement des deux ou des trois corps en relativité générale". *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, v 7 n°1, 1967, p 1-76.
- MAS, L.; "Étude des espaces-temps vides qui admettent une métrique du type de Kerr", *C. R. Acad. Sc. Paris*, v 268, 1969, p 441-444.
- MAS, L.; "Une solution des équations d'Einstein avec champ magnétique", *C. R. Acad. Sc. Paris*, v 270, serie A, 1970, p 837-840.
- MAS, L.; *Estudio sobre los espacios-tiempos del tipo de Kerr-Schild. Resumen de la Tesis presentada para aspirar al grado de Doctor en Ciencias*, Universidad de Barcelona, Barcelona, 1970.
- MAS, L.; "Breves ideas sobre soluciones exactas en relatividad general", en *Soluciones exactas en relatividad general. Colapso gravitacional y agujeros negros*, Editorial de la Universidad Complutense, Madrid, 1983.
- MASRIERA, MIGUEL; "Prólogo a *Einstein. Perfil de un hombre*, 3ª ed, de Peter Michemore", ed Labor, Barcelona, 1968.
- Mc Rea, W.; "Relativity and Space travel", *Nature*, v177, 1956, p 784-785 y v178, 1956, p 681-682.
- MECKLENBURG ; "Notas alemanas de Física", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 7, 1909, p27.
- MECKLENBURG ; "Notas alemanas de Física", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 7, 1909 p 177-178.
- MECKLENBURG; "Notas alemanas de Física. Conferencia de Max Born sobre La dinámica del electrón en la cinemática del principio de relatividad " *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 8, 1910, p 287-289.
- MECKLENBURG; "Notas alemanas de Física. Conferencia de Einstein sobre la esencia y constitución de la radiación" *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 8, 1910, p 387.
- MECKLENBURG; "Notas alemanas de Física. La Física en la 81 asamblea de naturalistas y médicos alemanes celebrada en sept. de 1909 en Salzurg" *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 8, 1910, p 286-288.
- MECKLENBURG; "Notas alemanas de Física. La Física en la 81 asamblea de naturalistas y médicos alemanes celebrada en sept. De 1909 en Salzurg. Reseña sobre discurso de Albert Einstein 'sobre la Teoría de la Relatividad" *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 8, 1910, p 384-387.
- MECKLENBURG; "Notas alemanas de Física, reseña de Sommerfeld 'Sobre la composición de las velocidades en la Teoría de la Relatividad'", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 8, 1910, p 387.
- MEDIO, NOLASCO DE; *Relatividad y Energía. Espacio y tiempo*, Oviedo, 1923.
- MIRANDA, LORENZO; *Teoría del Universo y física gravitatoria*, Madrid, 1966.
- MOHOROVICIC, STJEPAN; A contribution to the Knowledge of antimatter; *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v61, 1967, p545-554.
- MOJENA DÍAZ, MARIANO; "De electromagnetismo" *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 54, 1960, p 11-40.

- MOJENA, M.; "Consideraciones sobre la Teoría Electromagnética", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 55, 1961, p 549-561.
- MOLES VILLAMATE, MARIANO; "Situación actual en cosmología observacional", *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz, tomo II, 1977, p 549-555.
- MOLES VILLAMATE, M.; "Sobre la existencia de desplazamientos hacia el rojo anormales", *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, tomo II, 1977, p 681-688.
- MOLINA, A., E. BATTANER, JM QUINTANA; "Dependencia estacional de las ondas de gravedad y su posible implicación con la anomalía invernal", *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, tomo II, 1977, p. 749-752.
- MONTANYA, FRANCISCO; "El último eclipse de sol observado en Guinea", *Aster*, nº 45, Junio 1952, p 2-3.
- MONTERO ALONSO, "Don Julio Palacios sostiene una controversia con el mundo entero en torno a la Teoría de la relatividad", *Diario ABC*, 30-11-1961, p 31.
- MORAN SAMANIEGO, FRANCISCO; "Una explicación elemental de la paradoja de los relojes", *Revista de Geofísica*, nº 73, 1960, p 45- 53.
- NAVARRO, BENJAMÍN; "De relatividad", *Revista Calasancia*, 1922, p 38-47.
- NAVARRO, I.; "Reseña sobre Malet *La inutilidad del espacio-tiempo (resumen de una crítica de la teoría relativista)*", *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, v 22, 1924, p 108-118.
- OCHOA, J.; "El grupo de transformaciones de Lorentz", *Gaceta Matemática*, v 13, 1961, p 6-12.
- OLIINYCHENKO; "Problemas del tiempo relativista"; *Anales de Soc. Esp. Física y Quim.*, v 56A, 1960, p191-194.
- OLIINYCHENKO; "Teoría de relojes giroscópicos (I y II)"; *Anales de Soc. Esp. Física y Quim.*, v 57-A, 1961, p187-192 y p 193-200.
- OLIINYCHENKO; "Teoría de medidas en sistemas en movimiento", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 57-A, 1961, p 11-14.
- OLIVER, L. "Hamiltonian for a Kemmer particle in a electromagnetic Field", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 64A, 1968, p 407-410.
- OLIVERT PELLICER, JOAQUIN; *Estudio relativista de un fluido perfecto termodinámico de masa material variable en procesos reversibles*, Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, 1973. (También en *Collectanea Mathematica*, nº 27, 1976, p 167-218).
- OLIVERT PELLICER, J.; "Conservación de masa material en el proceso de expansión del universo", *Collectanea Mathematica*, 1978, p 7-10.
- ORTE, A., "El tiempo atómico internacional", *Electrónica y física aplicada*, 1971, v 14, p 374-378.
- ORTEGA Y GASSET; "Musicalia" en *El Espectador III*, 1921.
- ORTEGA Y GASSET; "El sentido histórico de la teoría de Einstein", en *El tema de nuestro tiempo*, 1923.
- ORTEGA Y GASSET; Prólogo a la versión española de Max Born, *La teoría de la relatividad de Einstein y sus fundamentos físicos*, Calpe, Madrid, 1922.
- ORTIZ FORNAGUERA, RAMÓN; "Acerca de unas fórmulas de Richt en óptica electrónica"; *Anales Soc. Esp. Fís. y Quím.*, v 44A, 1948, p 70-79.
- ORTIZ FORNAGUERA, R.; "Densidades escalares y leyes de conservación", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v44A, 1948, p 327-338.

- ORTIZ FORNAGUERA, R.; *Introducción a la teoría corpuscular de la luz*, CSIC, Monografías de ciencia moderna, Instituto "Daza de Valdés" de óptica, 1948.
- ORTIZ FORNAGUERA, R.; "Sobre la variancia de las magnitudes en el formalismo canónico", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 46, 1952, p 137-156.
- ORTIZ FORNAGUERA, R.; "El análisis funcional con relación al formalismo de Dirac para sistemas dinámicos localizables", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 46, 1952, p 315-346.
- ORTIZ FORNAGUERA, R.; "Sobre una nueva teoría de la relatividad", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 58, 1964, p 399-415.
- ORTIZ FORNAGUERA, R.; "Comentarios a dos recientes artículos de J. Palacios", *R. Acad. Ciencias Madrid*, v 59, 1965, p 439-446.
- ORTS ARACIL, JOSÉ MARÍA; *Evocación de una controversia en torno a unos documentos apócrifos*, CSIC, Barcelona, 1959.
- ORTS ARACIL, J.M.; "Fantappie y el análisis", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, v17, 1957, p 3-17.
- ORÚS NAVARRO, JUAN J. DE, "Sobre un problema de mecánica celeste", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, v 9, 4ª serie, 1949, p 13-15.
- ORÚS NAVARRO, J.J.; "La forma de las nebulosas extragalácticas", *Urania*, 1950, p 138-140.
- ORÚS NAVARRO, JUAN J. DE ; *Contribución a la teoría de Chandrasekhar sobre la dinámica de los sistemas estelares*, Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 1951; (También en *Collectanea Mathematica*, 1952, p 121-149).
- ORÚS NAVARRO, J.J.; "Las dimensiones de las nebulosas extragalácticas", *Urania*, 1952, p 193-197.
- ORÚS NAVARRO, J.J.; *Apuntes de astronomía*, Facultad de Ciencias, Universidad de Barcelona, 1966.
- PAPP, DESIDERIO; "La batallona cuestión del éter", *Ibérica*, Diciembre 1945, p 498-503.
- PAPP, D. ; "El viento del éter", *Ibérica*, 1946-I, p 35-38.
- PAPP, D. ; "El experimento de Michelson", *Ibérica*, 1946-I, p 83-87.
- PAPP, D.; "El pensamiento capital de Lorentz", *Ibérica*, 1946-I, p 117-119.
- PAPP, D.; "El efecto Lorentz", *Ibérica*, 1946-I, p 277-279.
- PAPP, D.; "Relatividad del espacio y el tiempo", *Ibérica*, 1946-II, p 12.
- PAPP, D.; "El enigma de la simultaneidad", *Ibérica*, 1946-II, p 282.
- PAPP, D.; "Retraso de los relojes en movimiento", *Ibérica*, 1947-I, p 42-45.
- PAPP, D.; "¿Es real la relatividad del espacio y el tiempo?", *Ibérica*, 1947-I, p 68-71.
- PAPP, D. ; "El mundo cuatridimensional", *Ibérica*, 1947-II, p 224-229.
- PAPP, D. ; "Relatividad de la masa en el mundo real", *Ibérica*, 1948-I, p 58-62.
- PAPP, D. ; "Los hechos hablan por Einstein", *Ibérica*, 1948-II, p 261-263.
- PAPP, D. ; "El soñador solitario", *Ibérica*, 1950-I, p 384-388.
- PAPP, D. ; "Einstein, académico de Berlin", *Ibérica*, 1950-I, p 432-435.
- PAPP, D. ; "El físico en el ascensor", *Ibérica*, 1950-II, p 22-27.
- PAGÈS JM; "La VIII Asamblea de la Unión Astronómica Internacional", *Aster* nº 52, Enero 1953, p 2-4.



- PALACIOS MARTÍNEZ, JULIO; "Reseña sobre Harnack 'La teoría del espejo móvil' " *Anales Soc. Esp. Fís. y Quím*, v12 segunda parte Revistas, 1914, p 82-85.
- PALACIOS, J.; "Discurso leído en el acto de su recepción el 8 Abril 1932"; *Discursos R. Acad. Ciencias Madrid*, 1932.
- PALACIOS, J.; "Los principios fundamentales de la Mecánica relativista. El método de Langevin para deducir las fórmulas fundamentales"; *Anales Soc. Esp. Fís. y Quím.*, v 32, 1934, p 385-398.
- PALACIOS, J.; "Magnitudes y unidades electromagnéticas. Discurso inaugural curso 1940-1941" ; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1940, p 3-56.
- PALACIOS, J.; "Las magnitudes electromagnéticas"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 35, 1941, p148-179.
- PALACIOS, J.; "Las magnitudes físicas y sus dimensiones"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 35, 1941, p 32-41.
- PALACIOS, J.; *Introducción a la Mecánica Física*, Ministerio del Aire, Madrid, 1942 (Otras ediciones: *Mecánica Física*, 1948, 3ª edición 1963).
- PALACIOS, J.; "Contestación a discurso de recepción de Enrique de Rafael 'El valor objetivo de los conocimientos y teorías científicas'"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, Abril 1943, p 87-106.
- PALACIOS, J.; *Electricidad y Magnetismo*, Ministerio del Aire, INTA, Madrid, 1945 (2ª edición 1959)
- PALACIOS, J., *Física Nuclear (De Leucipo a la bomba atómica)*, Valencia, 1947.
- PALACIOS, J. *Esquema físico del mundo.*, ed. Alcor, Madrid, 1947.
- PALACIOS, J.; "Terradas, Físico"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 44, 1950, p 114-120.
- PALACIOS, J.; "El lenguaje de la física y su peculiar filosofía"; *Discurso de ingreso en la Real Academia Española*, 1953.
- PALACIOS, J.; Racionalización de las ecuaciones electromagnéticas; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 48, 1954, p 33-52.
- PALACIOS, J.; "¿Se puede entender la Teoría de la Relatividad?" ; *Physicalia*, nº 19, 1955, p 3-8.
- PALACIOS, J.; "Temperatura, filosofía operacional y realismo ingenuo"; *Theoria, revista de teoría, historia y fundamentos de la Ciencia*, nº 9, 1955, p 25-32.
- PALACIOS, J.; "Revisión de los fundamentos de la Teoría de la Relatividad"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 50, 1956, p 441-456.
- PALACIOS, J. *Análisis Dimensional*, Espasa Calpe, 1956; (otras ediciones: *Analyse Dimensionnelle*. Gautier-Villars. París 1960; *Análisis Dimensional*, 2ª edición. Espasa Calpe, 1964; *Dimensional Analysis*, Mc Millan, Londres, 1964).
- PALACIOS, J.; "¿Se debe revisar la Teoría de la Relatividad?", *Anales Soc. Esp. Física y Quím*, v 53A, 1957, p 31-42.
- PALACIOS, J.; "Las constantes universales de la Física", *Il Nuovo Cimento*. Nº I del Suplemento al vol. 6, 1957, p 403-412.
- PALACIOS, J.; "Revisión de la Teoría de la Relatividad"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 51, 1957, p 21-101, 165-183, 245-292, 405-427.
- PALACIOS, J.; "Ensayo de una nueva teoría de la relatividad"; *Las Ciencias*, v 23, 1958, p 39-49.

- PALACIOS, J.; "Problemas suscitados por la racionalización de las ecuaciones del electromagnetismo"; *INE, Rev. de información electrónica*, Instituto Nacional de Electrónica, nº 4, 1958, p 205-214.
- PALACIOS, J.; "El espacio y el tiempo en la teoría de Einstein", *Segunda Reunión de Aproximación Filosófico-Científica. Institución "Fernando el Católico"*, CSIC, 1959, p 351-362.
- PALACIOS, J.; "Carácter peculiar de las ecuaciones de la Geometría y de la Física"; *Physicalia*, nº33, 1959, p1-8, nº34, p 3-7.
- PALACIOS, J.; "La paradoja de los relojes en la teoría general de la relatividad"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v53, 1959, p 495-509.
- PALACIOS, J.; "The clock paradox and the possibility of a new theory of relativity"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 53, 1959, p511-523.
- PALACIOS, J.; *Relatividad. Una nueva teoría*, Espasa-Calpe, Madrid, 1960.
- PALACIOS, J.; "La crisis de la teoría de la relatividad", *Actas de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Argentina (ANCEFN)*, v15, 1960, p 43-54.
- PALACIOS, J.; "Los postulados de la nueva teoría de la relatividad"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim* v 56A, 1960, p 195-206. (versión en inglés *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v54, 1960, p313-321).
- PALACIOS, J.; "Rehabilitación de Newton", *Physicalia*, nº. 35, 1960, p 19-22.
- PALACIOS, J.; "The invariance of the velocity of light"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v54, 1960, p493-501.
- PALACIOS, J.; "Einstein y la Filosofía soviética"; *Las Ciencias*, v26, 1961, p 89-99.
- PALACIOS, J.; "El enigma de la teoría de la relatividad I. Los éxitos"; *Arbor*, nº185, 1961, p 5-22.
- PALACIOS, J.; "El enigma de la teoría de la relatividad. II. La crisis"; *Arbor*, nº 187-88, 1961, p 287-308.
- PALACIOS, J.; "Los fundamentos experimentales de la teoría de la relatividad"; *Bol. Acad. Nac. C. Argentina*, v 42, 1961, p 21-28.
- PALACIOS, J.; "Materia, masa y energía"; *Tercera Reunión de Aproximación Filosófico-Científica. Inst. "Fernando el Católico"*, CSIC, 1961, p 177-184.
- PALACIOS, J.; "Relatividad"; *Gran Enciclopedia del Mundo. Durvan S.A.*, Bilbao, tomo 15, 1961, p781-784.
- PALACIOS, J.; "La astronáutica relativista", *Revista de Aeronáutica y Astronáutica*, nº 246, mayo 1961, p 367-372.
- PALACIOS, J.; "The newtonian law of gravitation in the theory of relativity"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v55, 1961, p191-195.
- PALACIOS, J.; "A simple treatment of the clock paradox", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v55, 1961, p197-199.
- PALACIOS, J.; "A Reappraisal of the Principle of Relativity as Applied to Moving Interferometers"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v55, 1961, p 201-212.
- PALACIOS, J.; "¿Existe el éter?", *Crisis, Revista Española de Filosofía*, nº 29-32, 1961, p 379-412.
- PALACIOS, J.; "Das Uhren-Paradoxon in der allgemeinen Relativitätstheorie" en Karl Sapper, *Kritik und Fortbildung der Relativitätstheorie*, Akad.Druk-U.Verl.Graz. Austria, v2, 1962, p 207-213.
- PALACIOS, J.; "The relativistic behaviour of clocks"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 56, 1962, p 287-306.

- PALACIOS, J.; "La conjura del silencio", Diario *ABC*, 24-9-1963.
- PALACIOS, J.; "Ficción matemática y realidad física"; *Atlántida*, 6, 1963, p 642-649.
- PALACIOS, J.; "La vitesse de la lumière d'après les équations de Maxwell"; *Bol. Acad. C. Lisboa*. v35, 1963, p 337-345.
- PALACIOS, J.; "Relatividad, una nueva teoría de la"; *Gran Enciclopedia del Mundo. Durvan S.A.*, Bilbao, tomo 16, 1963, p 370-373.
- PALACIOS, J.; "The Downfall of a Theory", *Newtonian Science Foundation Bolletin*, Richmond, California, 1963.
- PALACIOS, J.; "Óptica de los cuerpos en movimiento. Comentarios al experimento de Kantor"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v57, 1963, p 237-291.
- PALACIOS, J.; "The inner inconsistency of Einstein's theory"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v57, 1963, p 585-593.
- PALACIOS, J.; "Las fórmulas de transformación en la teoría de la relatividad"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v57, 1963, p 65-78.
- PALACIOS, J.; "Les unites electro-magnetiques"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, v60B, 1964, p 97-102.
- PALACIOS, J.; "L'invariance de la vitesse de la lumière"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v60B, 1964, p 271-276.
- PALACIOS, J.; "The inverse square law for the velocity of light"; *Electronics and Power*, secc. letters to editor, oct. 1964, p362-363.
- PALACIOS, J.; "Propagación de la luz en los sistemas inerciales móviles. I", *I.N.E.* nº 28, 1964, p 247-256.
- PALACIOS, J.; "El campo electromagnético en los sistemas inerciales móviles", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v58, 1964, p103-142.
- PALACIOS, J.; "Sobre una nueva teoría de la relatividad. Réplica del artículo del Sr. Ortiz Fornaguera", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v58, 1964, p 417-430.
- PALACIOS, J.; "The clock paradox"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v58, 1964, p 51-54.
- PALACIOS, J.; "Las fórmulas de transformación en la teoría de la Relatividad" *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Argentina (ANCEFN)* v20, 1965, p65-79.
- PALACIOS, J.; "Spot the fallacy"; *Electronics and Power*. Jul. 1965, p 239.
- PALACIOS, J.; "Propagación de la luz en los sistemas inerciales móviles. II"; *I.N.E., Instituto Nacional de Electrónica*, nº29, 1965, p 4-12.
- PALACIOS, J.; "The Transformations Laws in Relativity"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v59, 1965, p 23-35.
- PALACIOS, J.; "Dinámica Relativista"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v59, 1965, p 37-69.
- PALACIOS, J.; "Inercia y gravitación. Estudio crítico de la teoría general de la relatividad", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v59, 1965, p 461-499.
- PALACIOS, J.; "La axiomático relativista. Réplica a los comentarios del Sr. Ortiz Fornaguera" ; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v59, 1965, p 447-460.
- PALACIOS, J.; *La axiomático relativista*, Editora Nacional. Colección Ateneo, 1966.
- PALACIOS, J.; "The Relativistic Measures and Units"; *il Nuovo Cimento*. Serie A, v 43, 1966, p 413-422.
- PALACIOS, J.; "The Inverse square law in the theory of relativity"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v60, 1966, p 27-34.

- PALACIOS, J.; "Nueva Teoría de la Relatividad"; *Gran Enciclopedia del Mundo*. Durvan S.A. Bilbao, Apéndice 1, 1967, p 948-949.
- PALACIOS, J.; "Métrica, metrología y geometría", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v61, 1967, p 537-544.
- PALACIOS, J.; *Observaciones sobre el documento S.U.N. 65-3.*; Comité Español de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada, Madrid, 1968.
- PALACIOS, J.; "La nueva dinámica antirrelativista"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v62, 1968, p 69-132.
- PALACIOS, J.; "Incompatibilidad del principio de homogeneidad física con la teoría de la relatividad", *Libro Homenaje al Prof. D. Obdulio Fernández con motivo del Cincuentenario de su ingreso en la Real Academia de Ciencias*, R. Acad. Ciencias Madrid, 1969, p 165-175.
- PALACIOS, J.; "Incompatibility of the theory of relativity with Giorgi's system of units", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v63, 1969, p 467-476.
- PALACIOS, J.; "Ricardo San Juan y el Análisis Dimensional", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v64, 1970, p 331-355.
- PALUZIE BORRELL, ANTONIO; "Sir Arthur S. Eddington (1882-1944)", *Urania*, 1945, p 68-70.
- PALUZIE BORRELL, A. "Progresos de la astronomía en 1965", *Urania*, 1966, p 26-68.
- PALUZIE BORRELL, A.; "Los progresos en la investigación astronómica en el año 1966", *Urania*, 1967 p 42-72.
- PALUZIE BORRELL, A.; "Evolución estelar", *Urania*, 1972, p 123-143.
- PARÉS, R.; "Los efectos físicos de mayor importancia en Astrofísica", *Urania*, 1945, p 23-26.
- PASCUAL DE SANZ, PEDRO; "Partículas y simetrías", *Anales Soc. Esp. Física y Quím*, v 57A, 1961, p 15-28.
- PASCUAL, P.; "Premio Nobel de Física 1959", *Physicalia*, nº 37, Marzo 1969, p 9-10.
- PASCUAL Y L.M GARRIDO; "Diagonalization of hamiltonian", *il Nuovo Cimento*, v 12, nº 3, mayo 1959, p 181-190.
- PASCUAL, P. Y L. MAS; "Particle in a electromagnetic field: The Lorentz-Dirac equation", *Physical Review D*, v 9, nº 8, 1974, p2482-2483.
- PASCUAL, R. Y P. PASCUAL, "Muon capture by Helium-3", *il Nuovo Cimento B*, v 44, nº 2, 1966, p 434-451.
- PASCUAL, P., R. TARRACH Y F. VIDAL; "Muon capture in deuterium", *il Nuovo Cimento A*, v 12, nº 1, noviembre 1972, p 241-248.
- PATY, AGUILAR Y F. SENENT; "Interracciones fotonucleares de muones de alta energía"; *Anales Soc. Esp. Física y Quím*. v62A, 1966, p 93-97.
- PELAYO VIZUETE; *Einstein y el misterio de los mundos*, Madrid, 1923.
- PENSADO IGLESIAS, J.; "Radioastronomía y estructura galáctica", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1963*, 1962, p 310-376.
- PENSADO, IGLESIAS, JOSÉ; "Radioastronomía", *Las Ciencias*, 1962, p 380-393.
- PENSADO, J.; "Pulsares y Cuásares", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1972*, 1971, p 313-380.
- PEÑA, FERNANDO; "Las ecuaciones de los campos en la geometrización de la Física", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, 1925, v 3, p 19-24.
- PEÑA, F.; "La geometrización del electromagnetismo", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1926, p 637-642.

PEÑA, F.; "Sobre la unificación de los campos gravitatorio y electromagnético. Sesión del 17-5-1932", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias decimotercero celebrado en Lisboa*, v 2, sección c. Matemáticas, Madrid, 1932, p 11-20.

PEÑA SERRANO, HIPÓLITO; *Sobre la teoría de la relatividad de Einstein. Las objeciones e impugnaciones...*, Madrid, 1961.

PEREZ DEL PULGAR, J.A, "Ensayo de Geometría analítica noeulidiana", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 5, 1906, p 340-358, 429-453, 511-538.

PEREZ DEL PULGAR, J.A; *La teoría del potencial y la curvatura del espacio*, Madrid, 1907.

PÉREZ DEL PULGAR, "Teoría de la propagación de las ondas electromagnéticas en los medios en movimiento. Sesión del 16 de Junio de 1925", *Actas Asoc. Esp. Progreso Ciencias*, décimo congreso celebrado en Coimbra, t. V, sección ciencias físico-químicas, Madrid, 1926, p.43-76.

PEREZ DEL PULGAR Y VICENTE BURGALETA; "Observaciones sobre la mecánica de Einstein Minkowski", *Anales ICAI*, 1923, p 480-496.

PERMARTÍN, JOSÉ ; "La física y el espíritu", *Acción española*, nº 3, 1932 y nº 4, 1933.

PERMARTÍN, J. *Introducción a una filosofía de lo temporal. Doce lecciones sobre espacio-tiempo-causalidad (conferencias del curso 1934-1935 organizado por Acción Española)*, Espasa, 1941.

PERMARTÍN, J.; "Sobre el tiempo. Una nueva teoría de la relatividad", *Revista de Filosofía*, CSIC, nº18, Julio-Sept. 1946, p 477-497.

PETIT, E. *Teoría física del Universo*, Barcelona, 1964.

PLANS Y FREYRE, JOSÉ MARÍA; "Sobre el movimiento hiperbólico de Born en la cinemática relativista", *Revista Academia de Ciencias de Zaragoza*, v 3, 1918, p 115-123.

PLANS, J.M; Reseña sobre Weyl "Una nueva teoría de las relaciones entre el campo electromagnético y el gravitatorio", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v1, 1919, p 285-286.

PLANS, J.M.; "Nota sobre la forma de los rayos luminosos en el campo de un centro gravitatorio según la teoría de Einstein", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 18, 1920, p 367-374.

PLANS, J.M; "Proceso histórico del cálculo diferencial absoluto y su importancia actual". *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias celebrado en Oporto*, v 1, sec. c.matemáticas, 1921, p 23-44.

PLANS, J.M; *Nociones fundamentales de Mecánica relativista*, Graficas reunidas, Madrid, 1921.

PLANS, J.M; Reseña sobre Lucien Fabre "las theories d'Einstein", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v4, 1922, p 13.

PLANS, J.M; Reseña sobre L. Rouger "la matiere et l'énergie, selon la theorie de la relativite et la teoría das quanta" *Revista Matemática Hispanoamericana*, v4, 1922, p 104-105.

PLANS, J.M; "Algunas consideraciones sobre los espacios de Weil y de Eddington y los últimos trabajos de Einstein", *Real Academia Ciencias Madrid*, 1924.

PLANS, J.M.; *Nociones de Calculo diferencial absoluto y sus aplicaciones*. Memorias de la Real Academia Ciencias Madrid, 1924.

PLANS, J.M; Reseña sobre Levi-Civita 'Lezioni di Calculo differenziale assoluto', *Revista Matemática Hispanoamericana*, v7, 1925, p107-108.

PLANS, J.M; "Nuevas repeticiones del experimento de Michelson", *Ibérica*, 1927, p 94-95.

PLANS, J.M; "El experimento de Miller y la teoría de la relatividad", *Ibérica*, 1927, p 169-171.

PLANS, J.M; "Algunas ideas sobre la relatividad", *Ibérica*, nº 332, 1929, p 377-380.

- PLANS, J.M; Reseña sobre Emile Sevin 'Le temps absolu et l'espace a quatre dimensions (la gravitation, la masse, la lumiere)', *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1929.
- PLANS, J.M; "Sobre la teoría del campo único de Einstein", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1931, p 1-14.
- PLANS, J.M; Reseña sobre Emile Sevin 'Gravitation, lumiere et Electromagnetisme', *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1931, p 115.
- PLANS, J.M; Reseña sobre Einstein 'Les fondements de la theorie de la Relativite generale. Theorie unitaire de la Gravitation et de l'Electricité. Sur la Structure cosmologique de l' Espace', *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1933, p 242-243.
- PLANS, J.M; Reseña sobre Einstein 'les fondements de la theorie de la Relativité generale', *Revista Matemática Hispanoamericana*, v 9 2ª serie, 1934, p 110-111.
- PLANS, J.M; Reseña sobre Mineur "L'Univers en expansion" *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1934.
- PODLAHA, M Y NAVRATIL, E; "Formulation of the axioms for deriving the Lorentz transformation, Galileo transformation and Palacios transformation" *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v61, 1967, p 555-562.
- POINCARÉ, HENRI; *El valor de la ciencia*, (ed. española Emilio González Llana), Gutenberg, Madrid, 1906.
- POINCARÉ, H.; *La Ciencia y la Hipótesis* (ed. española Pedro M. González Guijano), Gutenberg, Madrid, 1907.
- POINCARÉ, H.; *Ciencia y método* (ed. española Eduardo Cazorla), Gutenberg, Madrid, 1910.
- PORTILLA MOLL, MIGUEL; *Sistema predictivo, de primer orden en g, para dos partículas en interacción gravitatoria*, Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, 1979.
- PRIETO DELGADO, LUIS; "El concepto de espacio y los métodos experimentales"; *Las Ciencias, sección matemáticas*, 1957, v 22 p 437 a 451.
- PUIG ADAM; *Resolución de algunos problemas elementales en mecánica relativista restringida*, JAE, Laboratorio y Seminario Matemático, 1923 (También en *Revista de la Real Academia de Ciencias de Madrid*, 1922).
- PUIG, IGNACIO; *La expansión del Universo*, Biblioteca Científica del Observatorio de San Miguel, Buenos Aires, 1935
- PUIG, I.; "La fuga de las nebulosas espirales", *Ibérica*, nº 17, 1945 v I, p 402-406.
- PUIG, I.; "La teoría de la expansión del Universo", *Ibérica*, Nº 22, 1945 v I, p 521-524.
- PUIG, I.; "Reparos a la teoría de la expansión del Universo", *Ibérica*, Nº 26, 1945, v II, p 12-16.
- PUIG, I.; *La expansión del Universo*, 2ª edición, Manuales "Revista Ibérica", nº 7, Barcelona, 1945
- RAMÍREZ MITTELBRUN, *Análisis grupal de la aproximación galileana en teoría cuántica relativista*, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 1978.
- RAMÓN Y FERRANDO, F; "Del origen de la radiación ultrapenetrante", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 24, 1926, p 234-243.
- RAPIER, PASCAL; "The relativity of sir Isaac Newton"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v56, 1962, p25-36.
- RAPIER, P.; "A proposed test of the asymmetrical aging absurdity using clock-satellites"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v57, 1963, p 77-86.
- RAPIER, P.; "A new cosmology, based upon the Hertzian fundamental principle of mechanics"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v57, 1963, p 727-744.

RAPIER, P.; "A new understanding of the Compton effect", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 61, 1967, p 67-69.

REBOLLEDO, M.A. Y E. BERNABEU; "Calculation of energies wave functions and transition probabilities of magnetic hyperfine atomic sublevels", *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza*, v 27, 1972, p 289-319.

REDACCIÓN PHYSICALIA; "Editorial. Albert Einstein", *Physicalia*, nº 19, 1955, p 1-2.

REDACCIÓN REV. MATEMÁTICA; "Crónica. La estancia del profesor Alberto Einstein en Madrid", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1923, p 187-195.

REDACCIÓN REV. MATEMÁTICA; "El profesor A. Einstein", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1923, p 129-135.

REDACCIÓN MADRID CIENTÍFICO, "Relatividad. Rey Pastor en la Argentina", *Madrid Científico*, 1923, v 30, p 49 a 51.

REY PASTOR, JULIO; "Discurso inauguración de las secciones", *Associação portuguesa para o progresso das Ciencias, XII congresso celebrao na cidade de Lisboa de 23 a 29 Outubro de 1950 juntamente com o XX congresso AEPC*, Lisboa, 1950, tomo I, p 39-66.

RIOS, J.; Reseña sobre Brillouin 'La tensión de la Radiación; su interpretación en mecánica clásica y en relatividad', *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, v 24, 2ª parte revistas y resúmenes, 1926, p 90-91.

ROCA, TEODORO; "Explosiones en núcleos estelares degenerados", *1ª asamblea de astronomía y astrofísica. Comunicaciones, Tenerife del 8 al 13 de septiembre de 1975*, Instituto Universitario de Astrofísica de la Universidad de la Laguna, 1976, p 803-815.

RODÉS, L.; "De los cuerpos reales al éter hipotético", *Razón y Fe*, v 30, 1911 p 73-86, 213-225, 355-365, 495-503; v 31, 1912, p 84-95, 212-225.

RODÉS, LUIS; "El principio de Doppler-Fizeau en su relación con la ley de Kirchhoff", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 17, 1919, p 471-487.

RODÉS, L.; "La espectroscopia, llave de la astronomía moderna. Conferencia en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona del 25-11-1922", *Memorias de la Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, v 18, 1923, p 1-19.

RODRÍGUEZ BACHILLER, Reseña sobre Maurice Boucher "Essai sur l'hyperspace, le temps, la matiere et l'energie", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v 2, 2ª serie, 1927, p 253.

RODRÍGUEZ, ÁNGEL; *Sobre la teoría de la Relatividad propuesta por el Dr. A. Einstein*, 1924.

RODRÍGUEZ, TEODORO ; "Relatividad, modernismo y matematicismo", *Ciudad de Dios*, v 135, 1923, p 42-67, 106-129, 196-221, 293-302, v 136, 1924, p 161-188, 273-290, 352-374, 401-425. 1924.

ROMAIN, J.E.; "A geometrical approach to relativistic paradoxes", *American Journal of Physics*, v 31, 1963, p 576-585.

ROMAIN, J.E.; "On some misconceptions about relativistic coordinate transformations"; *il Nuovo Cimento*, v 30, nº 5, 1963, p 1254-1271.

ROMAIN, J.E.; "Time measurements in accelerated frames of reference", *Reviews of Modern Physics*, v 35, 1963, p 376-388.

ROMAÑA, ANTONIO, *Idea sobre el estado actual de la cosmología*, CSIC, Patronato Alfonso el Sabio, Publicaciones del Observatorio del Ebro, memoria nº 12, Tortosa, 1966 (también aparecido como Memoria de la R. Acad. Ciencias Madrid, Madrid, 1966).

ROMAÑA, A. "Quasares y pulsares", *Urania*, 1972, p 78-122.

- ROMERO ORTIZ, JOSÉ; "Las ondas parásitas en radiocomunicaciones", *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza*, 1924, p 95-148.
- ROSICH, JOAN ; *De las hipótesis y teorías en las ciencias físicas*, Tarrasa, Escuela Industrial, 1922.
- ROSSER; "Spot a falacy", *Electronics and Power.*, sec. "letters to the editor", Junio 1964.
- RUDEFER; "Spot a falacy", *Electronics and Power.*, sec. "letters to the editor", Agosto 1964.
- RUIZ-CASTIZO ARIZA, JOSÉ; *Sobre las hipótesis que sirven de fundamento a la Mecánica racional* (Discurso leído en la Universidad de Zaragoza en la solemne apertura del curso académico de 1903 a 1904, 1 de octubre de 1903), Zaragoza, 1903.
- RUIZ DE GOPEGUI, LUIS; "¿Qué pasa con la teoría de la relatividad?", *INE (Instituto Nacional de Electrónica)*, nº 21, Enero 1963; p 3-5.
- RUIZ DE GOPEGUI, L.; "¿Qué pasa con la teoría de la relatividad? II", *INE (Instituto Nacional de Electrónica)*, Julio 1963; p 177-179.
- RUIZ DE GOPEGUI, L.; "¿Qué pasa con la teoría de la relatividad?", *INE (Instituto Nacional de Electrónica)*, nº 28, Octubre 1964; p 319-321.
- SÁENZ GARCÍA, CLEMENTE; "Nuevo ensayo acerca de Unidades físicas", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 47, 1953, p 83- 105.
- SÁENZ GARCÍA, C.; "Dimensiones imaginarias de algunas magnitudes físicas", *Las Ciencias*, año V, 1940, p 293-308.
- SALAS, A. Y J.M. SÁNCHEZ RON; "Predictive Solutions of Classical Electrodynamics", *il Nuovo Cimento*, v 20B, nº 1, 1974, p 209-223.
- SAN JUAN, RICARDO; "Teoría de las magnitudes físicas y sus fundamentos algebraicos", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 40, 1946, p 11-41, 137-184, 423-462, v 41, 1946, p 161-194, p 299-336.
- SÁNCHEZ DEL RIO, CARLOS; "On the relativistic corrections to the Schrödinger equation", *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, serie A Física, v 64A, 1968, p 321-324.
- SÁNCHEZ GÓMEZ, J.L.; "Relativistic terms in the reaction  $3\text{He}(\pi, \pi^+)3\text{H}$ ", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 65A, 1969, p 175-180.
- SÁNCHEZ RON, JOSÉ MANUEL; "On the equivalence between action-at-a-distance and non-linear field theories:three-body forces", *Journal of Physics A*, v 9, nº 12, 1976, p L175-L177.
- SÁNCHEZ RON, J.M.; "Approximate solutions of predictive relativistic mechanics for the gravitational interaction", *Journal of Physics A*, v 9, nº 11, 1976, p 1877-1885.
- SÁNCHEZ RON, JM Y SANZ, JOSÉ LUIS; "Momentum and angular momentum for some exact solutions of Fokker's electrodynamics", *Journal of Physics A*, v 8, nº 12, 1975, p 1975-1981.
- SANTALÓ, LUIS ANTONIO; "Sobre las ecuaciones del campo unificado de Einstein", *Rev.de Mat. y física teorica*, Universidad Tucuman, vol 12, 1959, p 31-55.
- SANTALÓ, L.A.; "Sobre las teorías del campo unificado", *Rev. de la Unión Matemática Argentina*, vol 19, 1960, p 195-206.
- SANTALÓ, L.A.; *Vectores y tensores y sus aplicaciones*, Editorial universitaria de Buenos Aires, 1961.
- SANTALÓ, L.A.; "On Einstein's unified field theory", en *Perspectives in Geometry and Relativity*, Indiana University Press, 1966, p 343-352.
- SANTALÓ, L.A.; "Sobre algunas teorías asimétricas del campo unificado", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, vol 66, 1972, p 395-425.



- SANTALÓ, L.A.; "Unified fields theories of Einstein's type deduced from a variational principles Conservation laws", *Tensor*, vol 25, 1972, p 383-389.
- SANTALÓ, L.A.; "Sobre las geodésicas del universo de Gödel-Synge" *Volumen homenaje al profesor Lora Tamaño*, R. Acad. Ciencias de Madrid *de Madrid*, 1975, p 51-69.
- SANTOS, E.; "Is there an electromagnetic background radiation underlying the quantum phenomena?", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 64A, 1968, p 317-320.
- SANTOS, E.; "Solución de las ecuaciones de Einstein-Maxwell para una corriente eléctrica cilíndrica estacionaria", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 64A, 1968, p 283-285.
- SANZ, JOSE LUIS Y JESUS MARTIN; "Systèmes non isolés de deux particules ponctuelles dans la cadre de la mécanique relativiste prédictive" *Annales de l'Institut Henri Poincaré, section A*, v 24, nº 4, 1976, p 347-358.
- Sanz Estévez, José Luis; *Sistemas aislados y no-aislados en el marco de la mecánica relativista predictiva*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 1977.
- SCHLICK, MORITZ; *Espacio y tiempo en la Física actual* (traducción por Manuel García Morente), Madrid, 1921.
- SCHWELB; "Spot a falacy", *Electronics and Power.*, sec. "letters to the editor", Junio 1964, p 211.
- SESMA, JAVIER; "On the Chakrabarti transformation", *Journal Mathematical Physics*, vol 7, 1966, p 1300.
- SESMA, J. BIEL Y L.M. GARRIDO; "Relation between Generalized Foldy-Wouthuysen and Lorentz Transformations", *American Journal of Physics*, 1964, p 559-562.
- SEVERI, FRANCESCO; "Reducción de los principios de la relatividad a sus elementos lógicos y psicológicos", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v 1, 2ª serie, 1926, p 108-115.
- SITTERT, JULIUS DE ; "Teoría general de la relatividad y espectro solar". *Revista de la Sociedad astronómica de España y América*, 1922, p 8-12.
- SUÑER, ENRIQUE; *Comparación de los universos de Einstein y de De Sitter*, Royal Institut de l'Europe, Torre del Remei, Barcelona, 1962.
- TALLADA Y COMELLA, FERNANDO;. "El método axiomático en las ciencias Físicas", Discurso inaugural del año académico 1929-1930 en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, *Memorias R. Acad. Ciencias Barcelona*, v 22, 1931, p 303-318.
- TARRACH Y P. PASCAL; "Relativistic study of the reaction  $\nu \mu + d \rightarrow p + p + \mu^-$ ", *il Nuovo Cimento A* v 18, nº 4, diciembre 1973, p 760-770.
- TEJADA PALACIOS; "Estudios Mossbauer de los estados de carga y simetrías del  $^{57}\text{Fe}$  en diversas espinelas de cobalto", *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, serie A Física, v 73A, 1977, p 39-44.
- TEN, ANTONIO E.; *Sobre los principios que sirven de base a la relatividad restringida*, Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, 1978.
- TERRADAS, ESTEBAN; "Teorías modernas acerca de la emisión de la luz (sesión de 27-10-1908 del Congreso de la Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias celebrado en Zaragoza). *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, sec. C. físico-químicas, 1909, p 291-312.
- TERRADAS, E.; "Sobre la emisión de radiaciones por cuerpos fijos o en movimiento" *Memorias de la Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, 1909, v 7, p 419-462.
- TERRADAS, E; "Sobre'l principi de relativitat ", *Arxius de l'Institut de Ciències*, año 1, nº 2, julio 1912, p 84-94.

- TERRADAS, E.; "Relatividad", Entrada de la *Enciclopedia Universal Espasa*, 1923.
- TERRADAS, E. Y ORTIZ FORNAGUERA; *Relatividad*, Espasa Calpe, Buenos Aires, 1952.
- THARRATS VIDAL, JESUS M; "Significado del nuevo campo de Einstein"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A, v 49A, 1953, p 303 a 310.
- THARRATS VIDAL, J.M.; "Fundamentos de un nuevo campo unitario de la gravitación y la electricidad"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* serie A, v 50A, 1954, p 41-44.
- TOLEDO Y ZULUETA, LUIS OCTAVIO DE; "Contestación al discurso de recepción en la R. Acad. Ciencias Madrid de Madrid de José María Plans, el 14-5-1924", *Discursos R.Acad. Ciencias Madrid*, Madrid, 1924.
- TORROJA MENÉNDEZ, JOSÉ MARÍA, "Los problemas de la mecánica celeste. Cap 3", *Matemática elemental*, v 3, 1943, p 169-174.
- TORROJA, J.M. "El sistema galáctico", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1945*, 1944, p 297-370.
- TORROJA MENÉNDEZ, J.M.; "Los satélites artificiales y la astronomía" *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1966*, 1965, p 312-378.
- TORROJA, J.M.; "Los quasars, nueva clase de objetos celestes", *Las Ciencias*, 1966, p 173-181.
- TOUS Y BIAGGI, JOSÉ; "El principio de contradicción en la geometría no euclídea y en el principio de relatividad, sesión de 8-6-1926", *Memorias de la Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, 1926, p 17-42.
- UNIVERSIDAD DE BARCELONA, *Anuario de la Universidad de Barcelona*, 1956.
- UNIVERSIDAD DE MADRID, *Anuario de la Facultad de Ciencias 1956-1957*, 1956.
- UNIVERSIDAD DE MADRID, *Anuario de la Facultad de Ciencias 1957-1958*, 1957.
- UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA, *Memoria Anual de la Universidad de Zaragoza 1954-1955*, 1954.
- URBANO, LUIS; *Einstein y Sto. Tomás. Estudio crítico de las teorías relativistas*, Valencia, 1926.
- VALDIVIA, RAFAEL DE "Algunas dificultades en la teoría de la relatividad", *Ibérica*, nº 123, 1947- II, p 264-268.
- VAZQUEZ, LUIS, "Interaction of classical Dirac and Klein-Gordon fields", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 72, 1976, p 196-199.
- VECINO, JERÓNIMO; Reseña sobre Georg Helm 'El principio de relatividad en la hipótesis del éter', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v10, 1912, p 200.
- VECINO, J.; "Discurso de contestación (a José Romero en el acto de su recepción)", *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*, v 9, 1924, p 139-148.
- VEINIK, ALBERT VICTOR; "Carta al editor relativa al efecto de la masa sobre la frecuencia", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v64, 1970, p 965-966.
- VEINIK, ALBERT VICTOR; "Carta al editor. Acerca del problema de la existencia del neutrino", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v65, 1971, p 735-738.
- VELA, A. "Los eclipses de 21 de septiembre de 1922 y de 10 de Septiembre de 1923", *Anuario del Observatorio de Madrid para 1923*, 1922, p 290- 305.
- VELASCO, R. "Espectroscopia astronómica II (Efecto Doppler)", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1960*, 1959, p 309-402.
- VELASCO, R.; "Espectros, átomos, estrellas", *Luz*, nº 3, 1961, p 46-55.
- VELASCO, R; "La espectroscopia y el desarrollo de la ciencia actual", *Las Ciencias*, 1963, p 337-349.

- VERA, FRANCISCO; *El hiperespacio*, Publicaciones El Telégrafo Español, Madrid, 1921.
- VERA, F.; *Espacio, hiperespacio y tiempo*, editorial Páez, Madrid, 1926.
- VERA, F.; *Historia de la Ciencia*, Iberia, Barcelona, 1937.
- VERA, F.; *Evolución del pensamiento científico*, Suramericana, Buenos Aires, 1945.
- VERDAGUER OMS, ENRIC; *Problema de  $n$  cuerpos en relatividad general e invariancia de las ecuaciones del movimiento*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, 1976.
- VERDAGUER, E.; "Predictive relativistic mechanics of gravitating masses", *Annales de l'Institut Henri Poincaré, section A*, v 28, nº 4, 1978, p 379-397.
- VIDAL ABASCAL, ENRIQUE; "Concepto de geometría y espacio geométrico. Revisión del programa de Erlangen", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, 1952, p 340-368.
- VIDAL ABASCAL, E. "Estado actual, métodos y problemas de la geometría diferencial", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1957, p 38-58, 161-170, 238-257, 299-312; 1958, p 28-70.
- VIDAL ABASCAL, E. "Generalización de los invariantes integrales y aplicación a la geometría integral en los espacios de Klein y de Riemann", *Collectanea Mathematica*, 1960, p 71-102.
- VIDAL LLENAS; "Partículas elementales" *Memorias de la R. Acad. Ciencias y Artes de Barcelona*, v 34, nº 10, sesión 15 de Noviembre 1962, p 227-243.
- VILLENA, LEONARDO; "La física vista por los físicos", *Physicalia*, nº 9, Enero-Febrero 1953, p 2-16.
- VILLENA, L.; "Sobre la Relatividad", *Physicalia*, nº 37, Marzo 1960, p 3-7.
- VVAA; *Actas de los Encuentros Relativistas 82 (1982, Bilbao)*, Universidad del País Vasco, 1983.
- VVAA; *Actas de los E.R.E 1983 (Palma de Mallorca)*, Universidad de Palma de Mallorca, 1984.
- VVAA; *Actas de los Encuentros Relativistas 84, (1984: Santander)*, Secretariado de Publicaciones, Universidad de Valencia, 1985.
- VOIGT; "Ueber das Dopplersche Princip", *Göttinger Nachrichten*, nº 8, 1887, p 41-51.
- WALDRON; "Spot a falacy", *Electronics and Power.*, sec. "letters to the editor", Marzo 1964, p 92 y Mayo 1964, p 168.
- WEARING; "Spot a falacy", *Electronics and Power.*, sec. "letters to the editor", Abril 1964.
- WEIER, JOSÉPH; "On axiomatization of the electrodynamics of the Lorentz space", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1961, p 11-14.
- WEIER, J. "Zur einbettung des reellen Lorentzraumes in die Algebra der komplexen 4-Matrizen", *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v 62, 1968, p 701-723.
- WEISSKOPF, V.F.; "El papel de la investigación sobre partículas elementales en el desarrollo de la física moderna", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 57, 1963, p 565-583.
- YNDURÁIN, FRANCISCO J.; *Definición de hamiltonianos y renormalización en algunos modelos de teoría cuántica de campos*, Tesis doctoral, Zaragoza, 1964 (También en *Revista de la Acad. Ciencias Zaragoza*, v 20, 1965, p129-151).
- YNDURÁIN, F. J.; "S-Matrix formalism in the Lee Model", *Journal of Mathematical Physics*, 1965.
- YNDURÁIN, F. J.; "The Schrödinger equation in the NO sector of the relativistic Lee model", *Anales de Soc. Esp. Física y Quím.* v62A, 1966, p 317-318.
- YNDURÁIN, F.J.; "Little groups of the  $(n+1)$ -dimensional Lorentz Group"; *il Nuovo Cimento*, v 45, 1966, p 239-240.

YNDURÁIN, F.J.; "S-Matrix formalism, charge renormalization, and definition of the hamiltonian in a simple Field-Theoretical Model"; *Journal of Mathematical Physics*, v.7, nº 6, 1966, p 1133-1136.

YNDURÁIN, F.J.; "On the continuity of causal automorphisms of Space-Time"; *Communications in Mathematical Physics*, v 4, 1967, p 349-351.

ZUBIRI, XABIER; *La idea de la naturaleza: la nueva física*, 1934, Publicado originalmente como "La Nueva Física (Un problema de filosofía)." *Cruz y Raya* , 1934, p 8-94.

ZUBIRI, X.; *Estructura dinámica de la realidad*, 1968, (publicado en 1989, Alianza Editorial, Madrid).

## REFERENCIAS ORIGINALES POR AÑO

### **ANTERIORES A 1908**

BALMES; *Filosofía Fundamental*, 1846 (Ed. Sopena, Argentina, 1963).

VOIGT; "Ueber das Dopplersche Princip", *Göttinger Nachrichten*, nº 8, 1887, p 41-51.

ECHEGARAY, JOSÉ; "Mecánica, hipótesis y crítica", *Nuestro Tiempo*, v 2, 1902, p 918-928.

ECHEGARAY, J.; "La crítica en Matemáticas", *Nuestro Tiempo*, v 3, 1903, p 17-30.

RUÍZ-CASTIZO ARIZA, JOSÉ; *Sobre las hipótesis que sirven de fundamento a la Mecánica racional* (Discurso leído en la Universidad de Zaragoza en la solemne apertura del curso académico de 1903 a 1904, 1 de octubre de 1903), Zaragoza, 1903.

ECHEGARAY, JOSÉ; "El espacio de muchas dimensiones", *Ciencia popular*, 1905, p 921-927.

ECHEGARAY, J.; "La Ciencia y la crítica" Discurso inauguración curso 1905-1906 de la Universidad Central, Madrid, 1905 (Aparece en Sánchez Ron, ed. *José Echegaray*, Fundación Banco Exterior, Madrid, 1990).

POINCARÉ, HENRI; *El valor de la ciencia*, (ed. española Emilio González Llana), Gutenberg, Madrid, 1906.

PÉREZ DEL PULGAR, J.A., "Ensayo de Geometría analítica noeuclidiana", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 5, 1906, p 340-358, 429-453, 511-538.

PÉREZ DEL PULGAR, J.A.; *La teoría del potencial y la curvatura del espacio*, Madrid, 1907.

POINCARÉ, H.; *La Ciencia y la Hipótesis* (ed. española Pedro M. González Guijano), Gutenberg, Madrid, 1907.

### **1908**

CABRERA, BLAS; "La teoría de los electrones y la constitución de la materia" (sesión de 26-10-1908 del Congreso de la AEPC celebrado en Zaragoza), *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, sec.c. físico-químicas, 1909, p 259-290.

TERRADAS, ESTEBAN; "Teorías modernas acerca de la emisión de la luz (sesión de 27-10-1908 del Congreso de la Asoc. Esp. Progreso de las Ciencias celebrado en Zaragoza). *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, sec. C. físico-químicas, 1909, p 291-312.

### **1909**

DOMENECH Y ESTAPÁ, JOSÉ; "Discurso de contestación a Esteban Terradas en su recepción como miembro de la Acad. Ciencias Barcelona el 15-3-1909", *Memorias R. Acad. Ciencias y Artes de Barcelona*, 1909, v 7, p 463-472.

MECKLENBURG ; "Notas alemanas de Física", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 7, 1909, p27.

MECKLENBURG ; "Notas alemanas de Física", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 7, 1909 p 177-178.

TERRADAS, E.; "Sobre la emisión de radiaciones por cuerpos fijos o en movimiento" *Memorias de la Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, 1909, v 7, p 419-462.

## 1910

CABRERA, B.; "El éter y sus relaciones con la materia en reposo", *Discurso recepción de la R. Acad. Ciencias de Madrid*, Madrid, 1910, p 1-70.

ECHEGARAY, J.; "Discurso de contestación a Blas Cabrera" en "Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la recepción pública del Sr. D. Blas Cabrera y Felipe el día 17 de Abril de 1910", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1910, p 73-102.

MECKLENBURG; "Notas alemanas de Física, reseña de Sommerfeld 'Sobre la composición de las velocidades en la Teoría de la Relatividad'", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 8, 1910, p 387.

MECKLENBURG; "Notas alemanas de Física. Conferencia de Einstein sobre la esencia y constitución de la radiación" *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 8, 1910, p 387.

MECKLENBURG; "Notas alemanas de Física. Conferencia de Max Born sobre La dinámica del electrón en la cinemática del principio de relatividad " *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 8, 1910, p 287-289.

MECKLENBURG; "Notas alemanas de Física. La Física en la 81 asamblea de naturalistas y médicos alemanes celebrada en sept. De 1909 en Salzurg" *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 8, 1910, p 286-288.

MECKLENBURG; "Notas alemanas de Física. La Física en la 81 asamblea de naturalistas y médicos alemanes celebrada en sept. De 1909 en Salzurg. Reseña sobre discurso de Albert Einstein 'sobre la Teoría de la Relatividad'" *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 8, 1910, p 384-387.

POINCARÉ, H.; *Ciencia y método* (ed. española Eduardo Cazorla), Gutenberg, Madrid, 1910.

## 1911

RODÉS, L.; "De los cuerpos reales al éter hipotético", *Razón y Fe*, v 30, 1911 p 73-86, 213-225, 355-365, 495-503; v 31, 1912, p 84-95, 212-225.

## 1912

CABRERA, B.; "Principios fundamentales de análisis vectorial en el espacio de tres dimensiones y en el Universo de Minkowski", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1912-1913. (Reeditado como libro independiente por Amigos de la cultura científica, Madrid,1996).

CABRERA, B.; "Reseña de M. Abraham 'Sobre la teoría de la gravitación' ", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 12, segunda parte: extractos de revistas, 1912, p 108-109.

MARTÍNEZ-RISCO, MANUEL; Reseña sobre Fery 'Principio de un nuevo método para medir la velocidad de la luz', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 10, 1912, p 410.

TERRADAS, E; "Sobre'l principi de relativitat ", *Arxius de l'Institut de Ciències*, año 1, nº 2, julio 1912, p 84-94.

VECINO, JERÓNIMO; Reseña sobre Georg Helm 'El principio de relatividad en la hipótesis del éter', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v10, 1912, p 200.

## 1913

CABRERA, B.; "Reseña sobre Van der Waals 'Energía y masa' ", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 11, 1913, p 16.

D'ORS, EUGENIO; *Las aporías de Zenon de Elea y la noción moderna de espacio-tiempo*, Tesis Doctoral inédita, Universidad Central, Madrid, 1913.

MARTÍNEZ-RISCO, M.; Reseña sobre J.Kunz 'Determinación teórica de la variación de la masa del electrón en función de la velocidad', *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* v 11 Revistas, 1913 p 85.

## 1914

ASCARZA, V.; "Eclipse total del Sol de 21 Agosto de 1914. Trabajos de la comisión española", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 12, memorias, 1914, p 460-469.

ASCARZA, VICTORIANO F. "Noticia preliminar del eclipse de sol de 21 de Agosto de 1914 y de los trabajos y observaciones hechas por la comisión del observatorio de Madrid", *Anuario del Observatorio de Madrid para 1915*, 1914, p 439-469.

CABRERA, B.; "Reseña sobre Max Plank 'Nuevos senderos del conocimiento físico' ", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 12 segunda parte, extractos de revistas, 1914, p 191-195.

CABRERA, B.; *Aplicación a la física de la geometría de las cuatro dimensiones*, Instituto de Ingenieros Civiles, 1914 (Aparece en González de Posada, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad; con 8 artículos de Blas Cabrera*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid, 1995).

MARTÍNEZ-RISCO, M.; Reseña sobre Sagnac 'El éter luminoso; comprobación de su existencia', *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* v 12 Revistas, 1914, p15.

## 1915

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "La espectroscopia interferencial y sus métodos. Conferencia leída en la Universidad de Valladolid el 20 de Octubre de 1915". *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias de Valladolid*, v 2, sección c. físicoquímicas, Madrid, 1915, p 203-232.

PALACIOS MARTÍNEZ, JULIO; "Reseña sobre Harnack 'La teoría del espejo móvil' " *Anales Soc. Esp. Fís. y Quím*, v12 segunda parte Revistas, 1914, p 82-85.

CAÑAS I BONVÍ; *Optica*, Barcelona, 1915.

CARRASCO, PEDRO; *Teoría de la relatividad*, Publicaciones Ateneo de Madrid, 1915.

COMAS SOLÁ, JOSÉ; "Desplazamiento rápido de estrellas revelados por la fotografía". *Rev. de la Soc. Astronómica de España y América*, 1915, p 25-27 y 39-42.

ECHEGARAY, J.; "Serie de negaciones", *Madrid Científico*, v 22,1915, p 341-346 (aparece en Sánchez Ron, *José Echeagaray*, 1990).

FERNÁNDEZ BAÑOS, OLEGARIO; "Representaciones reales de los espacios complejos de n dimensiones", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, congreso de Valladolid, v 3, sec. Matemáticas, 1915, p 119-130.

GARCÍA DE GALDEANO, ZOEL; "Correlaciones matemático-físico-químicas" . *Revista de la Sociedad Matemática Española*, 1915 a 1917, lección 5ª, v5, 1915, p 257-263; lección 7ª, 1916, p 293-297.

## 1916

C.M.; "Conferencias de Física Matemática en Madrid" (Reseñas sobre conferencias de Blas Cabrera, *Ibérica*, 1916, p 46-47, 114, 175-176, 333-335.

HERRERA, EMILIO; "Relación de la hipergeometría con la mecánica celeste", *Memorial de Ingenieros del ejército*, Madrid, Octubre 1916, v 33, p 371-388.

## 1917

CABRERA, B.; *Qué es la electricidad*, Publicaciones Residencia de Estudiantes, Madrid, 1917.

HERRERA, E.; "Relación de la hipergeometría con la mecánica celeste II", *Memorial de Ingenieros del ejército*, Madrid, 1917, v 34, p 221-235.

## 1918

CATALÁN, M.; Reseña sobre Saha 'límites de interferencia en el interferómetro de Fabry-Perot' ", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v16 revistas, 1918, p 116.

CATALÁN, M.; Reseña sobre Majorana 'El segundo postulado de la teoría de la relatividad', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 16 revistas, 1918, p 65.

CATALÁN, MIGUEL; Reseña sobre Charles St John 'El principio de relatividad y el desplazamiento de las líneas espectrales de Fraunhofer hacia el rojo', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 16 revistas, 1918, p 19-23.

PLANS Y FREYRE, JOSÉ MARÍA; "Sobre el movimiento hiperbólico de Born en la cinemática relativista", *Revista Academia de Ciencias de Zaragoza*, v 3, 1918, p 115-123.

## 1919

COMAS SOLÁ, J.; "Consideraciones sobre el principio de la relatividad y la teoría emisivo-ondulatoria de la energía radiante", *Boletín del Observatorio Fabra*, nº sep. y oct. 1919, p 62-68.

PLANS, J.M; Reseña sobre Weyl "Una nueva teoría de las relaciones entre el campo electromagnético y el gravitatorio", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v1, 1919, p 285-286.

RODÉS, LUIS; "El principio de Doppler-Fizeau en su relación con la ley de Kirchhoff"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 17, 1919, p 471-487.

## 1920

CARRASCO, P.; "Estado presente de la teoría de la relatividad. El Eclipse de Sol del 29 de Mayo de 1919. Consecuencias de las últimas observaciones", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v18, segunda parte, 1920, p 67-93.

COMAS SOLÁ, J.; "Comentarios sobre la teoría de la relatividad", *Boletín del Observatorio Fabra*, nº Julio a Oct. 1920, p 122-129.

EINSTEIN, Albert; "Ether and the theory of relativity", 1920, aparece en *Sidelights on relativity*, Nueva York, 1923.

FREUNDLICH, ERWIN; *Los fundamentos de la teoría de la gravitación de Einstein* (prólogo de Alberto Einstein y traducción por José María Plans), Madrid, 1920.

LEVI-CIVITA; "Cómo podría un conservador llegar al umbral de la nueva mecánica" *Revista Matemática Hispano Americana*, 1920, p 107-176.

PLANS, J.M.; "Nota sobre la forma de los rayos luminosos en el campo de un centro gravitatorio según la teoría de Einstein", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 18, 1920, p 367-374.



## 1921

APRAIZ, F.: "La interpretación mecánica de los fenómenos eléctricos y magnéticos. Sesión del 30 de Junio de 1921", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso Ciencias*, congreso celebrado en Oporto, tomo V, secc. c.físico-químicas, 1922, p 73-85.

CABRERA, "Momento actual de la física, discurso leído en la solemne sesión inaugural del curso académico de 1921-22, el día 13 de Noviembre de 1921". *Discursos de la R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1921, p 7-30.

CABRERA, B.; "Conferencias sobre Relatividad en la Universidad de Madrid", *Ibérica*, 1921, p 306-307, 324-325, 356-357, 371-373, 387-389.

CABRERA, B.; *La teoría de la relatividad*, Sociedad Oceanográfica de Guipúzcoa, 1921 (Aparece en González de Posada, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad*, Madrid, 1995).

COMAS SOLÁ, J. "Evolución científica", *Rev. de la Soc. Astronómica de España y América*, 1921, p 66-67.

DE RAFAEL, EN.; "La teoría del experimento de Michelson. Conferencia del 30-6-1921 en el congreso de Oporto de la Asoc. Española Para el Progreso de las Ciencias", *Actas Congreso Asoc. Esp. Progreso Ciencias*, sec. c. físico-quím. v 5, 1922, p 87-108.

DE RAFAEL, ENRIQUE.; "De relatividad. Apuntes con ocasión de las conferencias de E. Terradas en el Institut", *Ibérica*, 1921, nº 364, p 89-91, nº 372, p 218-221, nº 382, p 376-379, nº 403, p306 nº 404, p 324, nº 406, p 356, 371 y 387-388.

EINSTEIN, A.; *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*, editorial Toledo, Madrid. Traducción Lorente de No, 1921; (También en *Revista Matemática Hispanoamericana*, v 3, 1921, p 194-199, 231-234, 241-244, v4, 1922, p 1-4, 17-20, 39-43, 55-58).

GARCÍA MORENTE, MANUEL; "Apéndices explicativos a *Espacio y Tiempo en la Física actual* de Moritz Schlick", Calpe, Madrid, 1921.

HERRERA, E.; "Algunas consideraciones sobre la teoría de la relatividad de Einstein. Conferencia del 30-6-1921 en el congreso de Oporto de la AEPC", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, sec. c.físico-químicas, 1921, p 129-140.

LEVI-CIVITA; "L'optica geomètrica i la relativitat general d'Einstein" en *Questions de mecànica clàssica i relativista*, Institut D'Estudis Catalans, Barcelona, 1921.

ORTEGA Y GASSET; "Musicalia" en *El Espectador III*, 1921.

PLANS, J.M; "Proceso histórico del cálculo diferencial absoluto y su importancia actual". *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias celebrado en Oporto*, v 1, sec. c.matemáticas, 1921, p 23-44.

PLANS, J.M; *Nociones fundamentales de Mecánica relativista*, Graficas reunidas, Madrid, 1921.

SCHLICK, MORITZ; *Espacio y tiempo en la Física actual* (traducción por Manuel García Morente), Madrid, 1921.

VERA, FRANCISCO; *El hiperespacio*, Publicaciones El Telégrafo Español, Madrid, 1921.

## 1922

ALDASORO, J.M.; Reseña de Norris Rusell "Sobre la teoría de la gravitación de Majorana" ; *Anales Soc. Esp. Física y Quím*, 1922, p 9.

BORN, MAX; *La teoría de la relatividad de Einstein y sus fundamentos físicos*: (traducido por Manuel García Morente, prólogo de Ortega y Gasset), Calpe, Madrid, 1922.

BURGALETA, VICENTE; "Fundamentos de la dinámica", *Anales ICAI*, 1922, p 392-398.

COMAS SOLÁ, J. " Otro método para obtener el valor del movimiento absoluto de la Tierra", *Boletín del Observatorio Fabra*, nº 7, 1922, p 154.

COMAS SOLÁ, J. "La energía y la radiación del Sol", *Rev. de la Soc. Astronómica de España y América*, 1922, p 19-21.

COMAS SOLÁ, J. "Procedimiento astronómico para revelar el movimiento absoluto de nuestro sistema solar, en el caso de existir este movimiento absoluto", *Boletín del Observatorio Fabra*, nº 7, 1922, p 150-153.

DE RAFAEL, EN.; "Sobre la influencia del índice de refracción en el corrimiento de las rayas previsto en el experimento de Michelson", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 20, 1922, p 221-223.

DE RAFAEL, EN.; "La Teoría de la Relatividad", *Razón y Fe*, v 64, 1922, p 344-359.

DE RAFAEL, EN.; "Nociones de mecánica clásica y relativista (conferencias semanales en el Instituto Católico de Artes e Industrias en el curso 1921-1922", *Anales de la Asociación de ingenieros ICAI*, v 1, Fasc. 1º, 1922, p 20-26, 124-130, 179-188, 413-417, 538- 542, 1923, p 66-71, 157-164, 273-276.

DE RAFAEL, EN.; Reseña sobre Einstein, "Teoría de la relatividad especial y general", *Ibérica*, v 16, 1922, p 400.

EDDINGTON, ARTHUR STANLEY; *Espacio, tiempo y gravitación*, (traducción José María Plans), Barcelona, 1922.

IBEAS, BRUNO; *Las teorías de la relatividad de A. Einstein*, Bruno del Amo, Madrid, 1922.

LAGASCA, FAUSTO; *En torno a un rayo de luz*, Almería 1922.

NAVARRO, BENJAMÍN; "De relatividad", *Revista Calasancia*, 1922, p 38-47.

ORTEGA Y GASSET; Prólogo a la versión española de Max Born, *La teoría de la relatividad de Einstein y sus fundamentos físicos*, Calpe, Madrid, 1922.

PLANS, J.M; Reseña sobre L. Rouger "la matiere et l'énergie, selon la theorie de la relativite et la teoría das quanta" *Revista Matemática Hispanoamericana*, v4,1922, p 104-105.

PLANS, J.M; Reseña sobre Lucien Fabre "las theories d'Einstein", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v4, 1922, p 13.

PUIG ADAM; *Resolución de algunos problemas elementales en mecánica relativista restringida*, JAE, Laboratorio y Seminario Matemático, 1923 (también en *Revista de la Real Academia de Ciencias de Madrid*, 1922).

ROSICH, JOAN ; *De las hipótesis y teorías en las ciencias físicas*, Tarrasa, Escuela Industrial, 1922.

SITTERT, JULIUS DE ; "Teoría general de la relatividad y espectro solar". *Revista de la Sociedad astronómica de España y América*, 1922, p 8-12.

VELA, A. "Los eclipses de 21 de septiembre de 1922 y de 10 de Septiembre de 1923", *Anuario del Observatorio de Madrid para 1923*, 1922, p 290- 305.

## 1923

BENTABOL, HORACIO; "Relatividad, un concurso patriótico"; *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, v. XIII, 1923, p 29-30.

BURGALETA, V.; "Una paradoja relativista", *Madrid Científico*, nº 30, 1923, p 66-68.

CABRERA, B.; "Discurso de recepción", en *Discursos pronunciados en la sesión solemne que se dignó presidir S.M. el Rey el día 4 de Marzo de 1923, celebrada para hacer entrega del diploma*

de académico correspondiente al profesor Alberto Einstein", R. Acad. Ciencias de Madrid, 1923, p 6-15.

CABRERA, B.; *Principio de Relatividad. Sus fundamentos experimentales y filosóficos y su evolución histórica*, Residencia de Estudiantes, Madrid, 1923 (reedición en Amigos de la Cultura Científica, Madrid, 1999).

COMAS SOLÁ, J. "Generalidades sobre la teoría emisivo-ondulatoria de la energía radiante", *Rev. de la Soc. Astronómica de España y América*, v 8, 1923, p 35-36.

COMAS SOLÁ, J. "Noticias sobre la desviación de las imágenes de las estrellas durante el eclipse del 21 de septiembre de 1922", *Rev. de la Soc. Astronómica de España y América*, v 8, 1923, p 63.

COMAS SOLÁ, J. "Las conferencias del profesor Einstein" *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, v 8, 1923, p 20-21.

COMAS SOLÁ, J.; "Consideraciones sobre nuestro universo", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, v 8, 1923, p 77-79.

DE RAFAEL, EN.; "El profesor Alberto Einstein en Madrid", *Anales ICAI*, 1923, p 160-164.

EDDINGTON, A.; "Rotación Absoluta" *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1923, p 177-186.

EINSTEIN, A.; "Discurso de contestación" en *Discursos pronunciados en la sesión solemne que se dignó presidir S.M. el Rey el día 4 de Marzo de 1923, celebrada para hacer entrega del diploma de académico correspondiente al profesor Alberto Einstein*, R. Acad. Ciencias Madrid, Madrid, 1923.

ESTALELLA; Reseña sobre Raschevski 'Investigaciones críticas acerca de los fundamentos físicos de la teoría de la relatividad' *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* v 21 revistas, 1923, p 115.

GOICOECHEA, J.M.; "Las teorías de Einstein sin matemáticas", *Revista Calasancia*, 1923, p 468-489.

GOICOECHEA, J.M.; *Las teorías de Einstein y su crítica (conferencias en el ateneo)*, Madrid, 1923.

GOICOECHEA, JOSÉ MARÍA DE; "Crítica de las teorías de Einstein", *Revista Calasancia*, 1923, p 563-585.

HERRERA, E. "La intuición y la ciencia", *Madrid Científico*, nº 1082, 1923, p 17-19.

HERRERA, E. "Una paradoja relativista", *Madrid Científico*, nº 1083, 1923, p 35.

HUERTAS, ATAULFO; "la Relatividad de Einstein", *Revista Calasancia*, 1923, p 241-254, 290-309, 369-384.

LUCINI, M.; "El profesor Einstein", *Madrid Científico*, v 30, 1923, p 65-66.

LUCINI, MANUEL "Sobre una paradoja relativista", *Madrid Científico*, v 30, nº 1084, 1923, p 35.

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Un concepto de aparato interferencial", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, noveno congreso celebrado en Salamanca del 24 al 29 Junio de 1923, sec. Astronomía, 1924, p 5-12.

MEDIO, NOLASCO DE; *Relatividad y Energía. Espacio y tiempo*, Oviedo, 1923.

ORTEGA Y GASSET; "El sentido histórico de la teoría de Einstein", en *El tema de nuestro tiempo*, 1923.

PELAYO VIZUETE; *Einstein y el misterio de los mundos*, Madrid, 1923.

PEREZ DEL PULGAR Y VICENTE BURGALETA; "Observaciones sobre la mecánica de Einstein Minkowski", *Anales ICAI*, 1923, p 480-496.

REDACCIÓN *MADRID CIENTÍFICO*, "Relatividad. Rey Pastor en la Argentina", *Madrid Científico*, 1923, v 30, p 49 a 51.

REDACCIÓN *REV. MATEMÁTICA*; "Crónica. La estancia del profesor Alberto Einstein en Madrid", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1923, p 187-195.

REDACCIÓN *REV. MATEMÁTICA*; "El profesor A. Einstein", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1923, p 129-135.

RODÉS, L.; "La espectroscopia, llave de la astronomía moderna. Conferencia en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona del 25-11-1922", *Memorias de la Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, v 18, 1923, p 1-19.

RODRÍGUEZ, TEODORO ; "Relatividad, modernismo y matematicismo", *Ciudad de Dios*, v 135, 1923, p 42-67, 106-129, 196-221, 293-302, v 136, 1924, p 161-188, 273-290, 352-374, 401-425. 1924.

TERRADAS, E.; "Relatividad", Entrada de la *Enciclopedia Universal Espasa*, 1923.

## 1924

COMAS SOLÁ, J.; "Abstracción y realidad", Discurso inaugural del año académico 1924 a 1925, sesión 24-X-1924, *Memorias de la Real Academia de Ciencias de Barcelona*, v 18, 1924, p475-481.

ESTALELLA; Reseña sobre Stjepan Mohorovicic 'Eter, materia, gravitación y teoría de la relatividad', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, 1924.

GÜELL LÓPEZ, EUSEBIO; *Espacio, relación y posición. Ensayo sobre los fundamentos de la geometría*. Calpe, Madrid, 1924.

HADAMARD; "Sobre la representación gráfica del espacio de 4 dimensiones", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v6,1924, p265-269.

NAVARRO, I.; "Reseña sobre Malet *La inutilidad del espacio-tiempo (resumen de una crítica de la teoría relativista)*", *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, v 22, 1924, p 108-118.

PLANS, J.M.; *Nociones de Calculo diferencial absoluto y sus aplicaciones*. Memorias de la Real Academia Ciencias Madrid, 1924.

PLANS, J.M; "Algunas consideraciones sobre los espacios de Weil y de Eddington y los últimos trabajos de Einstein", *Real Academia Ciencias Madrid*, 1924.

RODRÍGUEZ, ÁNGEL; *Sobre la teoría de la Relatividad propuesta por el Dr. A. Einstein*, 1924.

ROMERO ORTIZ, JOSÉ; "Las ondas parásitas en radiocomunicaciones", *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza*, 1924, p 95-148.

TOLEDO Y ZULUETA, LUIS OCTAVIO DE;. "Contestación al discurso de recepción en la R. Acad. Ciencias Madrid de Madrid de José María Plans, el 14-5-1924", *Discursos R.Acad. Ciencias Madrid*, Madrid, 1924.

VECINO, J.; "Discurso de contestación (a José Romero en el acto de su recepción)", *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*, v 9, 1924, p 139-148.

## 1925

BENTABOL, H.; *Observaciones contradictorias a la teoría de la relatividad del profesor Alberto Einstein*, Madrid, 1925.

DE GREGORIO, ANTONIO; "Sobre la relación de la materia con el éter cósmico", *Memorias Real Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, 1925, p 223-227.

DOPORTO, M.; Reseña sobre Michelson y Gale 'El efecto de la rotación de la Tierra sobre la velocidad de la luz', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 23, segunda parte Revistas y Resúmenes, 1925, p 167-168.

DOPORTO; Reseña sobre Swan 'La teoría de Stokes-Planck y el experimento de Michelson-Morley', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 23 segunda parte Revistas y Resúmenes, 1925, p 314.

LORENTE DE NO; Reseña sobre Plans "Nociones de calculo diferencial absoluto y sus aplicaciones", *Rev. Matemática Hispanoamericana* v7, 1925, p 206.

MARTÍNEZ SANCHO, MARÍA DEL CARMEN; "Notas sobre algunos espacios normales de Bianchi", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, 1925, sec. Matemáticas, p 73-80.

PEÑA, FERNANDO; "Las ecuaciones de los campos en la geometrización de la Física", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, 1925, v 3, p 19-24.

PLANS, J.M; Reseña sobre Levi-Civita 'Lezioni di Calcolo differenziale absoluto', *Revista Matemática Hispanoamericana*, v7, 1925, p107-108.

## 1926

DOPORTO; Reseña de Eve 'Pruebas de la teoría de la relatividad', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 24 segunda parte Revistas y Resúmenes, 1926, p 97.

DOPORTO; Reseña de Thirring 'Los experimentos del Prof. Miller sobre el desplazamiento del éter', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, 1926, v 24, secc. resúmenes trabajos de Física, p 158.

DOPORTO; Reseña sobre Home 'Tres frecuencias fundamentales', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 24, 1926, p 86.

DOPORTO; Reseña sobre Jauncey 'La conservación de la cantidad de movimiento y el principio Dopler', *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 24, 1926, p 85-86.

EINSTEIN, A.; "Geometría no euclídea y Física", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v 1, 2ª serie, 1926, p 72-76.

LORENTE DE NO; Reseña sobre Laue "La theorie de la relativité", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v1, 2ª serie 1926, p 206.

LORENTE DE NO; Reseña sobre Lecat 'Bibliographie de la Relativité', *Revista Matemática Hispanoamericana*, v1, 2ª serie, 1926, p 81.

PEÑA, F.; "La geometrización del electromagnetismo", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1926, p 637-642.

PÉREZ DEL PULGAR, "Teoría de la propagación de las ondas electromagnéticas en los medios en movimiento. Sesión del 16 de Junio de 1925", *Actas Asoc. Esp. Progreso Ciencias*, décimo congreso celebrado en Coimbra, t. V, sección ciencias físico-químicas, Madrid, 1926, p.43-76.

RAMÓN Y FERRANDO, F; "Del origen de la radiación ultrapenetrante", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 24, 1926, p 234-243.

RIOS, J.; Reseña sobre Brillouin 'La tensión de la Radiación; su interpretación en mecánica clásica y en relatividad', *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, v 24, 2ª parte revistas y resúmenes, 1926, p 90-91.

SEVERI, FRANCESCO; "Reducción de los principios de la relatividad a sus elementos lógicos y psicológicos", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v 1, 2ª serie, 1926, p 108-115.

TOUS Y BIAGGI, JOSÉ; "El principio de contradicción en la geometría no euclídea y en el principio de relatividad, sesión de 8-6-1926", *Memorias de la Academia Ciencias y Artes de Barcelona*, 1926, p 17-42.

URBANO, LUIS; *Einstein y Sto. Tomás. Estudio crítico de las teorías relativistas*, Valencia, 1926.

VERA, F.; *Espacio, hiperespacio y tiempo*, editorial Páez, Madrid, 1926.

## 1927

CABRERA, B.; "Proceso de extensión del conocimiento", *Revista de Occidente*, 1927, p 3-35.

DRIESCH; *La teoría de la relatividad y la filosofía*, Revista de Occidente, Madrid, 1927.

EINSTEIN, A.; "Nuevos experimentos sobre la influencia del movimiento terrestre en la velocidad de la luz con relación a la Tierra". 1927. *Investigación y Progreso*, nº 1, 1927, p 4-5.

J.R.; Reseña sobre L. De Broglie 'El Universo de cinco dimensiones y la Mecánica ondulatoria' *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, v 25, segunda parte: revistas y resúmenes, 1927, p 68.

MARTÍNEZ SANCHO, M.C.; "Contribución al estudio de los espacios normales de Bianchi", *Rev. R. Acad.Ciencias de Madrid*, 1927, p 588-603.

PLANS, J.M; "El experimento de Miller y la teoría de la relatividad", *Ibérica*, 1927, p 169-171.

PLANS, J.M; "Nuevas repeticiones del experimento de Michelson", *Ibérica*, 1927, p 94-95.

RODRÍGUEZ BACHILLER, Reseña sobre Maurice Boucher "Essai sur l'hyperspace, le temps, la matiere et l'energie", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v 2, 2ª serie, 1927, p 253.

## 1928

ANGLAS, J; *De Euclides a Einstein, relatividad y conocimiento*, Ed. Hernando, Madrid, 1928.

CARRASCO, P.; *Filosofía de la Mecánica*, editorial Paez, Madrid, 1928.

LEDESMA RAMOS; "Hans Driesch y las teorías de Einstein", *La Gaceta Literaria*, 15-10-1928.

## 1929

APRAIZ, F.; "La Electrodinámica de los cuerpos en movimiento y el retorno de la Mecánica clásica; Sesión del 22 de Mayo de 1929", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, duodécimo congreso celebrado en Barcelona, tomo V, secc. c. físico-químicas, 1930, p 55-68.

BALTÁ ELÍAS, JOSÉ; "Evolución de las teorías sobre la propagación de las ondas hertzianas"; *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias*, 1929, v 2, p 5-30.

CORRAL, JOSÉ ISAAC; *Mecánica no-newtoniana de tipo elíptico*, Memorias R. Acad. Ciencias de Madrid, 1929.

PLANS, J.M; "Algunas ideas sobre la relatividad", *Ibérica*, nº 332, 1929, p 377-380.

PLANS, J.M; Reseña sobre Emile Sevin 'Le temps absolu et l'espace a quatre dimensions (la gravitation, la masse, la lumiere)', *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1929.

## 1930

ARTAZA, F.; "La relatividad del tiempo en Física", *Revista de Obras Públicas*, 1930, p 326-330.

ARTAZA, FERMÍN; "Nuevo procedimiento de deducir las fórmulas de transformación de Lorentz", *Revista de Obras Públicas*, 1930, p 9-13.

MARTINEZ-RISCO Y P. ZEEMAN; "Comprobación experimental del principio Doppler-Fizeau para la luz", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v28, 1930, p 342-349.

## 1931

CABRERA, B.; "La imagen actual del Universo según la Relatividad", *Revista de Occidente*, 1931 (aparece en González de Posada, *Blas Cabrera ante Einstein y la relatividad; con 8 artículos de Blas Cabrera*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid, 1995).

GÁLVEZ LAGUARDA, E.; "Interpretación del resultado de la experiencia de Michelson-Morley con arreglo a las teorías clásicas", *Academia de Ciencias de Zaragoza*, 1931, p. 46-48.

GÁLVEZ LAGUARDA, EDUARDO; "El efecto de aberración astronómica y su interpretación en la hipótesis de que el éter exista y sea arrastrado por los cuerpos en movimiento", *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*, 1931, p 42-45.

PLANS, J.M; "Sobre la teoría del campo único de Einstein", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1931, p 1-14.

PLANS, J.M; Reseña sobre Emile Sevin 'Gravitation, lumiere et Electromagnetisme', *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1931, p 115.

TALLADA Y COMELLA, FERNANDO;. "El método axiomático en las ciencias Físicas", Discurso inaugural del año académico 1929-1930 en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, *Memorias R. Acad. Ciencias BARcelona*, v 22, 1931, p 303-318.

## 1932

CABRERA, B.; "Discurso de contestación a Julio Palacios", *Rev. Acad. Ciencias Madrid*, 1932, p 67-78.

PALACIOS, J.; "Discurso leído en el acto de su recepción el 8 Abril 1932"; *Discursos R. Acad. Ciencias Madrid*, 1932.

PEÑA, F.; "Sobre la unificación de los campos gravitatorio y elctromagnético. Sesión del 17-5-1932", *Actas Congreso Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias decimotercero celebrado en Lisboa*, v 2, sección c. Matemáticas, Madrid, 1932, p 11-20.

PERMARTÍN, JOSÉ ; "La física y el espíritu", *Acción española*, nº 3, 1932 y nº 4, 1933.

## 1933

EDDINGTON, A.; *La expansión del universo*, Ed. Revista de Occidente, Madrid, 1933.

G.A.; Reseña sobre E. Cartan "Le parallelisme absolu et le théorie unitaire du diamp", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1933, p 444-445.

PLANS, J.M; Reseña sobre Einstein 'Les fondements de la theorie de la Relativite generale. Theorie unitaire de la Gravitation et de l'Electricité. Sur la Structure cosmologique de'l Espace', *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1933, p 242-243.

## 1934

ALCOBÉ, E.; "Física", entradas de la *Enciclopedia Universal Espasa*, suplemento 1934, p 361-365; suplemento 1936-1939, p 1003.

BENTABOL, H.; Entrada "Física" en Suplemento 1934 de *Enciclopedia Universal Espasa*, 1934

DOMINGO Y QUILEZ, JOSÉ; "Los últimos descubrimientos en la física", *Boletín de la Universidad de Granada*, nº 28, Abril 1934, p 117-136

EINSTEIN, A. "El problema del espacio, el éter y el campo en la física", 1934, edición en castellano de *Mis Ideas y Opiniones*, Bon Ton, Antoni Bosch editor, Barcelona, 2000, p 251-252.

HERRERA, E.; "El Universo y la hiperdinámica". *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* v 32, 1934, p 109-127.

LANGEVIN, P. Y JULIO PALACIOS; "Deducción de la mecánica a partir del principio de conservación de la energía y de la regla de composición de velocidades". *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 32, 1934, p 4-19.

PALACIOS, J.; "Los principios fundamentales de la Mecánica relativista. El método de Langevin para deducir las fórmulas fundamentales"; *Anales Soc. Esp. Fís. y Quím.*, v 32, 1934, p 385-398.

PLANS, J.M; Reseña sobre Einstein 'les fondements de la theorie de la Relativité generale', *Revista Matemática Hispanoamericana*, v 9 2ª serie, 1934, p 110-111.

PLANS, J.M; Reseña sobre Mineur "L'Univers en expansion" *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1934.

ZUBIRI, XABIER; *La idea de la naturaleza: la nueva física*, 1934, Publicado originalmente como "La Nueva Física (Un problema de filosofía)." *Cruz y Raya*, 1934, p 8-94.

PERMARTÍN, J. *Introducción a una filosofía de lo temporal. Doce lecciones sobre espacio-tiempo-causalidad (conferencias del curso 1934-1935 organizado por Acción Española)*, Espasa, 1941.

## 1935

DOMINGO Y QUILEZ, J. "Acerca de la explicación no relativista del desplazamiento de las rayas del espectro en las nebulosas espirales. El universo cíclico en explosión". *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* v 33, 1935, p 831.

DOMINGO Y QUILEZ, J.; *Estructura, expansión y evolución del universo*, Traveset, Granada, 1935.

PUIG, IGNACIO; *La expansión del Universo*, Biblioteca Científica del Observatorio de San Miguel, Buenos Aires, 1935

## 1937

VERA, F.; *Historia de la Ciencia*, Iberia, Barcelona, 1937.

## 1940

PALACIOS, J.; "Magnitudes y unidades electromagnéticas. Discurso inaugural curso 1940-1941"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1940, p 3-56.

SÁEZ GARCÍA, C.; "Dimensiones imaginarias de algunas magnitudes físicas", *Las Ciencias*, año V, 1940, p 293-308.

## 1941

CARRASCO, P.; *La nueva física*, ediciones El Nacional, México, 1941.

FOZ, O.R.; "Un aspecto de la materialización de la energía según la teoría de Dirac", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 37, 1941, p 22-24.

PALACIOS, J.; "Las magnitudes electromagnéticas"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 35, 1941, p148-179.

PALACIOS, J.; "Las magnitudes físicas y sus dimensiones"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 35, 1941, p 32-41.

## 1942



GARCÍA, JUAN; "Sobre la teoría del espacio"; *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 36, 1942, p 263-295.

PALACIOS, J.; *Introducción a la Mecánica Física*, Ministerio del Aire, Madrid, 1942 (Otras ediciones: *Mecánica Física*, 1948, 3ª edición 1963).

### 1943

BENÍTEZ, WENCESLAO; "El universo sideral", *Las Ciencias*, nº 3, 1943, p 505-534.

DE RAFAEL, En. "El valor objetivo de los conocimientos y teorías científicas" *Discurso de recepción*, *R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1943, p 5-85.

FANTAPPIE, LUIGI; "Teoría unitaria de la causalidad y finalidad en los fenómenos físicos y biológicos, fundada en la mecánica ondulatoria y relativista", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, v 3, 4ª serie, 1943, p 82-99.

GUTIÉRREZ, ENRIQUE; "La teoría de Dirac en la nueva mecánica ondulatoria", *Anales de Mecánica y Electricidad. Revista de los ingenieros del ICAI*, v 20, nº 166, May-Jun 1943, p135-141; v 20, nº 167, Jul-Ago 1943, p 218-223.

HURTADO ACERA, LUIS; "Magnetismo, electricidad y gravitacion", *Las Ciencias*, nº 4, 1943 p 685-704.

PALACIOS, J.; "Contestación a discurso de recepción de Enrique de Rafael 'El valor objetivo de los conocimientos y teorías científicas'"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, Abril 1943, p 87-106.

TORROJA MENÉNDEZ, JOSÉ MARÍA, "Los problemas de la mecánica celeste. Cap 3", *Matemática elemental*, v 3, 1943, p 169-174.

### 1944

BELDA VILLENA, ENRIQUE; *Mecánica pura y sus aplicaciones técnicas*, Imprenta editorial moderna, Bilbao, 1944.

GUTIÉRREZ, E.; "Los positrones y los estados de energía negativa de la teoría de Dirac", *Anales de Mecánica y Electricidad. Revista de los ingenieros del ICAI*, v 21, nº 174, Septiembre-October 1944, p 249-259.

TORROJA, J.M. "El sistema galáctico", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1945*, 1944, p 297-370.

### 1945

APRAIZ, F.; *Las seis dimensiones del espacio físico. Errores de la física actual y naturaleza de la electricidad y el éter*, Tipográficas Falange, Las Palmas, 1945.

CABRERA, B.; "Evolución de las ideas en la física", *Ciencia*(México) nº 6, 1945, p 197.

GULLÓN, ENRIQUE; "El origen del calor solar", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1946*, 1945, p 297-361.

PALACIOS, J.; *Electricidad y Magnetismo*, Ministerio del Aire, INTA, Madrid, 1945 (2ª edición 1959).

PALUZIE BORRELL, ANTONIO; "Sir Arthur S. Eddington (1882-1944)", *Urania*, 1945, p 68-70.

PAPP, DESIDERIO; "La batallona cuestión del éter", *Ibérica*, Diciembre 1945, p 498-503.

PARÉS, R.; "Los efectos físicos de mayor importancia en Astrofísica", *Urania*, 1945, p23-26.

- PUIG, I.; "La teoría de la expansión del Universo", *Ibérica*, Nº 22, 1945 v I, p 521-524.
- PUIG, I.; "Reparos a la teoría de la expansión del Universo", *Ibérica*, Nº 26, 1945, v II, p 12-16.
- PUIG, IGNACIO; "La fuga de las nebulosas espirales", *Ibérica*, nº 17, 1945 v I, p 402-406.
- PUIG, I. ; *La expansión del Universo*, 2ª ed., Manuales "Revista Ibérica", nº 7, Barcelona, 1945
- VERA, F.; *Evolución del pensamiento científico*, Suramericana, Buenos Aires, 1945.

## 1946

- PAPP, D. ; "El experimento de Michelson", *Ibérica*, 1946-I, p 83-87.
- PAPP, D. ; "El viento del éter", *Ibérica*, 1946-I, p 35-38.
- PAPP, D.; "El efecto Lorentz", *Ibérica*, 1946-I, p 277-279.
- PAPP, D.; "El enigma de la simultaneidad", *Ibérica*, 1946-II, p 282.
- PAPP, D.; "El pensamiento capital de Lorentz", *Ibérica*, 1946-I, p 117-119.
- PAPP, D.; "Relatividad del espacio y el tiempo", *Ibérica*, 1946-II, p 12.
- PERMARTÍN, J.; "Sobre el tiempo. Una nueva teoría de la relatividad", *Revista de Filosofía*, CSIC, nº18, Julio-Sept. 1946, p 477-497.
- SAN JUAN, RICARDO; "Teoría de las magnitudes físicas y sus fundamentos algebraicos", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 40, 1946, p 11-41, 137-184, 423-462, v 41, 1946, p 161-194, p 299-336.

## 1947

- APRAIZ, F.; "El aumento de la masa con la velocidad ¿es un hecho probado?" *Ibérica*, nº 118, Agosto 1947, p 95-96.
- D'ORS, E.; "Einstein, su venida a España, su racionalismo" en *Nuevo Glosario I*, Aguilar editor, Madrid, 1947, p 794-797.
- MARAVALL CASESNOVES, DARÍO; "La aberración y la aceleración de la gravedad", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1947, p 90-95.
- MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Images microscopiques correspondant a un électron illuminé", *Journal de Physique*, v 8, nº 4, 1947, p 123-128 (también como "Imágenes microscópicas correspondientes a un electrón iluminado" en *Ciencia* (México), 1947, p 157-162).
- MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Les principe de Huyghens dans l'optique des corps en mouvement", *Journal de Physique*, v 8, 1947, p 282-288.
- PALACIOS, J., *Esquema físico del mundo*, ed. Alcor, Madrid, 1947.
- PALACIOS, J., *Física Nuclear (De Leucipo a la bomba atómica)*, Valencia, 1947.
- PAPP, D. ; "El mundo cuatridimensional", *Ibérica*, 1947-II, p 224-229.
- PAPP, D.; " ¿Es real la relatividad del espacio y el tiempo?", *Ibérica*, 1947-I, p 68-71.
- PAPP, D.; "Retraso de los relojes en movimiento", *Ibérica*, 1947-I, p 42-45.
- VALDIVIA, RAFAEL DE "Algunas dificultades en la teoría de la relatividad", *Ibérica*, nº 123, 1947-II, p 264-268.

## 1948

- DE BROGLIE, LUIS; "Sobre la inercia de la energía", *Euclides*, v 8, nº 83, Enero 1948, p 1-4.

EINSTEIN, A.; *El significado de la relatividad*, Espasa Calpe, 1948 (1ª edición en español de la edición original de 1922).

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Images microscopiques produites par un faisceau d'électrons en recul", *Journal de Physique*, v 9, 1948; (también como "Imágenes microscópicas producidas por un haz de electrones en retroceso" en *Ciencia* (México), 1948, p 119-121).

ORTIZ FORNAGUERA, R.; "Densidades escalares y leyes de conservación", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* v44A, 1948, p 327-338.

ORTIZ FORNAGUERA, R.; *Introducción a la teoría corpuscular de la luz*, CSIC, Monografías de ciencia moderna, Instituto "Daza de Valdés" de óptica, 1948.

ORTIZ FORNAGUERA, RAMÓN; "Acerca de unas fórmulas de Richt en óptica electrónica"; *Anales Soc. Esp. Fís. y Quím.*, v 44A, 1948, p 70-79.

PAPP, D. ; "Los hechos hablan por Einstein", *Ibérica*, 1948-II, p 261-263.

PAPP, D. ; "Relatividad de la masa en el mundo real", *Ibérica*, 1948-I, p 58-62.

## 1949

APRAIZ, F.; "Es la carga eléctrica la que varía con la velocidad (una probable confusión)", *Ibérica*, nº 170, Octubre 1949, p 261-263.

GASTARDI, E.; "La evolución estelar", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1950*, 1949, p 297-377.

IÑIGUEZ ALMECH; *Mecánica cuántica*, Academia de Ciencias de Zaragoza, 1949.

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Ondes planes et ondes sphériques dans les problèmes d'optiques avec mouvement relatif, cas d'un miroir mobile illuminé par un faisceau convergent", *Journal de Physique et le Radium*, serie VIII, v 10, nº 4, 1949, p 128-131.

MARTÍNEZ-RISCO, M.; "Concept interférenciel des images optiques móviles, dans la théorie de la relativité", *Comptes rendus de l'Académie Sciences Paris*, v 228, 1949, p 2014-2016; (también como "Concepto interferencial de las imágenes ópticas móviles en la Teoría de la Relatividad" en *Ciencia* (México), 1950, p 23-24).

ORÚS NAVARRO, JUAN J. DE, "Sobre un problema de mecánica celeste", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, v 9, 4ª serie, 1949, p 13-15.

## 1950

BELDA, E.; *Mecánica clásica y moderna*, Imprenta editorial moderna, Bilbao, 1950.

MARAVALL, D.; "La cuantificación de la masa, de la velocidad y de la incertidumbre del reposo absoluto en Mecánica ondulatoria", *Euclides*, v 10, nº 116, 1950, p 336-339.

MARAVALL, D.; "Cálculo original del número de electrones y de protones del universo. Demostración de que la posición del fotón no es observable en mecánica ondulatoria", *Euclides*, v 10, nº118, Diciembre 1950, p 427-432.

MARAVALL, D.; "La cuantificación del espacio y el tiempo en la mecánica ondulatoria", *Euclides*, vol 10, nº 113-114, Julio-Agosto 1950, p 247-250.

MARAVALL, D.; "Las consecuencias cosmológicas y cosmogónicas de mi teoría de la discontinuidad de las variables de la mecánica ondulatoria. Cálculo del límite superior de la masa propia del fotón", *Euclides*, v 10, nº117, Noviembre 1950, p 385-389.

MARAVALL, D.; "Una nueva teoría de desviación de los rayos luminosos y del corrimiento de las rayas espectrales hacia el rojo por la acción de un campo gravitatorio", *Euclides*, vol 10, nº 111-112, Mayo-Junio 1950, p 203-207.

ORÚS NAVARRO, J.J.; "La forma de las nebulosas extragalácticas", *Urania*, 1950, p 138-140.

PALACIOS, J.; "Terradas, Físico"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 44, 1950, p 114-120.

PAPP, D. ; "Einstein, académico de Berlin", *Ibérica*, 1950-I, p 432-435.

PAPP, D. ; "El físico en el ascensor", *Ibérica*, 1950-II, p 22-27.

PAPP, D. ; "El soñador solitario", *Ibérica*, 1950-I, p 384-388.

REY PASTOR, JULIO; "Discurso inauguración de las secciones", *Associação portuguesa para o progresso das Ciencias, XII congresso celebrao na cidade de Lisboa de 23 a 29 Outubro de 1950 juntamente com o XX congresso AEPC*, Lisboa, 1950, tomo I, p 39-66.

## 1951

ARMENTER DE MONASTERIO, FEDERICO; "Progresos realizados en la investigación astronómica durante el año 1950", *Urania*, 1951, p 162-183.

BARANGUÉ; "Ideas cosmológicas actuales", *Urania*, 1951, p 197-20.

CASTRO BRZECICKI, A.; "Las teorías relativistas de Einstein", *Gaceta Matemática*, v 3, 1951, p 18-27.

CASTRO BRZECICKI, A.; "Introducción a la Dinámica del punto de masa variable", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 45, 1951, p 45-89.

IÑIGUEZ ALMECH; *El enigma del mundo físico en la mecánica moderna. Lección inaugural 1951-1952*, Universidad de Zaragoza, 1951.

MARAVALL, D.; "La estructura de los medios con simetría axial en la relatividad generalizada. Aplicación a las galaxias", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, 1951, vol 11 4ª serie, p 277-287.

MARAVALL, D.; "Cálculo original del límite superior de la relación masa-radio de los cuerpos materiales y de la densidad del universo en función del radio", *Euclides*, v 11, nº123-124, mayo-junio 1951, p 205-210.

MARAVALL, D.; "El concepto de fuerza y de masa en física y el problema de la geometría natural", *Euclides*, v 11, nº120, Febrero 1951, p 61-65.

MARAVALL, D.; "Mi teoría de la estructura cosmológica del universo en expansión", *Euclides*, v 11, nº129-130, Nov-Dic1951, p 391-404.

ORÚS NAVARRO, JUAN J. DE ; *Contribución a la teoría de Chandrasekhar sobre la dinámica de los sistemas estelares*, Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 1951; (También en *Collectanea Mathematica*, 1952, p 121-149).

## 1952

ARMENTER, F.; "Recientes estudios sobre la radiación cósmica", *Las Ciencias*, 1952, p 209-238.

BALTÁ, J.; "Una nueva ciencia: la radioastronomía", *Revista de la Universidad de Madrid*, 1952, p 501-524.

CASARES ROLDÁN; *Refutación de los fundamentos de la Relatividad*, Granada, 1952.

MARAVALL, D.; "La cuantificación de la probabilidad y la imposibilidad física en Mecánica ondulatoria", *Euclides*, vol. 12, nº 136, Junio 1952, p 225-233.

MARAVALL, D.; "La explicación de la fuga de las galaxias en mi teoría de la expansión del universo. Variación de la energía de ionización de los rayos cósmicos en función del tiempo", *Euclides*, vol 12, Marzo 1952, p 140-151.

MARAVALL, D.; "La métrica no euclídea del espacio-tiempo en el interior de una masa de fluido barótopo con simetría esférica", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, 1952, p 138-50.

MARTINEZ-RISCO, M.; "Interprétation d'un phénomène interférentiel par des observateurs en mouvement relatif", *Journal de Physique et le Radium*, v 13, nº 10, 1952, p 441-444.

MONTANYA, FRANCISCO; "El último eclipse de sol observado en Guinea", *Aster*, nº 45, Junio 1952, p 2-3.

ORTIZ FORNAGUERA, R.; "El análisis funcional con relación al formalismo de Dirac para sistemas dinámicos localizables", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 46, 1952, p 315-346.

ORTIZ FORNAGUERA, R.; "Sobre la variancia de las magnitudes en el formalismo canónico", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 46, 1952, p 137-156.

ORÚS NAVARRO, J.J.; "Las dimensiones de las nebulosas extragalácticas", *Urania*, 1952, p 193-197. ;

TERRADAS, E. Y ORTIZ FORNAGUERA; *Relatividad*, Espasa Calpe, Buenos Aires, 1952.

VIDAL ABASCAL, ENRIQUE; "Concepto de geometría y espacio geométrico. Revisión del programa de Erlangen", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, 1952, p 340-368.

### 1953

BALTÁ, J.; "Recientes progresos en Radioastronomía. Radiación solar hiperfrecuente", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 47, 1953, p 195-240.

BENÍTEZ, W.; "Expedición a Guinea para la observación del eclipse total de sol del 25 Febrero 1952", *Urania*, nº 234, 1953, p175-187.

CASARES ROLDAN, *Hacia una nueva Física. Fascículo I*. Imprenta Urania, Granada, 1953.

CASARES ROLDAN, *Hacia una nueva Física. Fascículo II, La Energía Cinética y el Movimiento*, Imprenta Urania, Granada, 1953.

D'ORS, E.; "Los argumentos de Zenón de Elea y la noción moderna del espacio-tiempo", *Theoria*, Madrid, 1953, nº 5-6; p 1-6.

GARCÍA BACCA, JUAN DAVID; "Historia filosófica de la Física, como serie de inventos conceptuales", *Teoría*, 1953, nº5-6, p 33-48.

IÑIGUEZ ALMECH; "Aspecto actual de la mecánica teórica. Discurso leído en la sesión inaugural del curso 1953-54", *Rev. de la Acad. de Ciencias de Zaragoza*, v8, nº 2, 1953, p 5-19.

MARAVALL, D.; "Teoría relativista de la atracción de una esfera pulsátil o con spin. Aplicación a las cefeidas", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, 1953, 4ª serie, v 13, p 175-187.

MARAVALL, D.; "La solución dinámica del problema del cuerpo único en la teoría de la relatividad. Hipótesis sobre el origen de los rayos cósmicos", *Euclides*, v 13, 1953, p 62-72.

MARTINEZ-RISCO, M.; "Sur les modifications vectorielles inhérentes à l'effet Doppler pour des ondes se propageant dans un milieu diélectrique", *Journal de Physique et le Radium*, v 14, nº 12, 1953, p 657- 662.

PAGÈS JM; "La VIII Asamblea de la Unión Astronómica Internacional", *Aster* nº 52, Enero 1953, p 2-4.

PALACIOS, J.; "El lenguaje de la física y su peculiar filosofía"; *Discurso de ingreso en la Real Academia Española*, 1953.

SÁEZ GARCÍA, CLEMENTE; "Nuevo ensayo acerca de Unidades físicas", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 47, 1953, p 83-105.

THARRATS VIDAL, JESUS M; "Significado del nuevo campo de Einstein"; *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A, v 49A, 1953, p 303-310.

VILLENA, LEONARDO; "La física vista por los físicos", *Physicalia*, nº 9, Enero-Febrero 1953, p 2-16.

## 1954

CASTRO BRZECICKI, A. "Cosmologías relativistas", *Gaceta Matemática*, v 6, 1954, p 152-159.

DIRAC, "Quantum Mechanics and the Aether" *The Scientific Monthly*, v 78, 1954, p 142.

HERRERA, E. "Martínez-Risco y la relatividad", *Revista Izquierda Republicana*, (México), 1954, año XV, nº 93, México, nov-dic 1954.

LLEGUET, MARIO ; "Reportaje de la exposición internacional", *Aster*, nº 75, Diciembre 1954, p 194-196, "III exposición internacional de Astronomía (continuación) ", *Aster*, nº 76, Enero 1955, p 2-6; "III exposición internacional de Astronomía (continuación) ", *Aster*, nº 77, Febrero 1955, p 10-13.

PALACIOS, J.; Racionalización de las ecuaciones electromagnéticas; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 48, 1954, p 33-52.

THARRATS VIDAL, J.M.; "Fundamentos de un nuevo campo unitario de la gravitación y la electricidad"; *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* serie A, v 50A, 1954, p 41-44.

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA, *Memoria Anual de la Universidad de Zaragoza 1954-1955*, 1954.

## 1955

BALTÁ, J.; "Einstein y la teoría de la radiación"; *Physicalia*, nº 19, 1955, p 9-11.

BALTÁ, J.; "Einstein, físico universal"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v59, 1955, p 103-114.

FOLCH, EUGENIO LEÓN; "In promptu. A la memoria de Alberto Einstein", *Aster*, Mayo 1955, p 34-35.

GALLEGO-DÍAZ, JOSÉ; "El hombre Einstein"; *Physicalia*, nº 19, 1955, p 11-13.

JIMÉNEZ-LANDÍ, PEDRO; "En la muerte de Einstein"; *Physicalia*, nº 19, 1955, p13-15.

LOPEZ ARROYO, M.; "Espectroscopia astronómica", 1955, *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1956*, 1955, p 311-497.

MARAVALL, D.; "Ensayo de teoría unitaria de la gravitación y del electromagnetismo", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, v 15, 1955, p 88-114 y 165-181.

PALACIOS, J.; "¿Se puede entender la Teoría de la Relatividad?" ; *Physicalia*, nº 19, 1955, p 3-8.

PALACIOS, J.; "Temperatura, filosofía operacional y realismo ingenuo"; *Theoria, revista de teoría, historia y fundamentos de la Ciencia*, nº 9, 1955, p 25-32.

REDACCIÓN PHYSICALIA; "Editorial. Albert Einstein", *Physicalia*, nº 19, 1955, p 1-2.

## 1956

DINGLE, "Relativity and space travel", *Nature*, 28 Abril 1956, v 173, p 782-784, p 785 (Réplica a McRea), v 178, 29 Sept 1956, p 680-681.

ESCANDELL SERRA, DANIEL; "Estudio sobre la expansión del Universo", *Aster*, 1956, p 54-60.

GÁLVEZ LAGUARDA, E.; "El confucionismo terminológico en la Física y la Filosofía", *Physicalia*, nº 20, Enero 1956, p 2-4.

JIMÉNEZ-LANDI; "En torno al problema de un Observatorio nacional", *Physicalia*, nº 22, 1956, p 3-5.

MARAVALL, D.; "Sobre la dinámica de los sistemas de masa variable", *Gaceta Matemática*, v 8, 1956, p 256-262.

Mc Rea, W.; "Relativity and Space travel", *Nature*, v177, 1956, p 784-785 y v178, 1956, p 681-682.

PALACIOS, J. *Análisis Dimensional*, Espasa Calpe, 1956 (otras ediciones: *Analyse Dimensionnelle*. Gautier-Villars. París 1960; *Análisis Dimensional*, 2ª edición. Espasa Calpe, 1964; *Dimensional Analysis*, Mc Millan, Londres, 1964).

PALACIOS, J.; "Revisión de los fundamentos de la Teoría de la Relatividad"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 50, 1956, p 441-456.

UNIVERSIDAD DE BARCELONA, *Anuario de la Universidad de Barcelona*, 1956.

UNIVERSIDAD DE MADRID, *Anuario de la Facultad de Ciencias 1956-1957*, 1956.

## 1957

BEL, LLUIS; "Sur les discontinuités des dérivées secondes des potentiels de gravitation", *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 245, 1957, p 2482-2485.

CRAWFORD, FRANKS; "Experimental verification of the Clock-Paradox of Relativity", *Nature*, v 179, 1957, p 35-36.

GULLÓN, E.; "Las estrellas enanas blancas", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1958*, 1957, p 311-360.

ORTS ARACIL, J.M.; "Fantappie y el análisis", *Rev. Matemática Hispanoamericana*, v17, 1957, p 3-17.

PALACIOS, J.; "¿Se debe revisar la Teoría de la Relatividad?", *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, v 53A, 1957, p 31-42.

PALACIOS, J.; "Las constantes universales de la Física", *Il Nuovo Cimento*. Nº I del Suplemento al vol. 6, 1957, p 403-412.

PALACIOS, J.; "Revisión de la Teoría de la Relatividad"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 51, 1957, p 21-101, 165-183, 245-292, 405-427.

PRIETO DELGADO, LUIS; "El concepto de espacio y los métodos experimentales"; *Las Ciencias, sección matemáticas*, 1957, v 22 p 437 a 451.

UNIVERSIDAD DE MADRID, *Anuario de la Facultad de Ciencias 1957-1958*, 1957.

VIDAL ABASCAL, E. "Estado actual, métodos y problemas de la geometría diferencial", *Revista Matemática Hispanoamericana*, 1957, p 38-58, 161-170, 238-257, 299-312; 1958, p 28-70.

## 1958

ARCIDIACONO, GIUSEPPE; "La relatività di Fantappiè", *Collectanea Mathematica*, 1958, p 85-124.

ARZELIES; *La dynamique relativiste et ses applications II*, Gauthier-Villars, París, 1958.

BEL, L.; "Définition d'une densité d'énergie et d'un état de radiation totale généralisée". *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 246, 1958, p 3015-3018.

BEL, L.; "Étude algebrique d'un certain type de tenseurs de courbure. Le cas 3 de Petrov", *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 247, 1958, p 2096-2099.

BEL, L.; "Sur la radiation gravitationnelle", *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 247, 1958, p 1094-1096.

GARRIDO ARILLA, LUIS MARÍA; "Propagador del nucleón", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 54A, 1958, p 143-160.

GARRIDO, L.M.; "Propagador del nucleón II. Conversión de las ecuaciones funcionales del campo nuclear", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 54-A, 1958, p 161-162.

GARRIDO, L.M.; "Cinemática cuántica relativista", *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*, tomo 13, fasc 2º, 1958, p 197-263; tomo 14, fasc. 1, 1959, p 9-72.

GARRIDO, L.M.; "Las partículas elementales según Heisenberg", *Physicalia*, nº 31 1958, p 5-14.

PALACIOS, J.; "Ensayo de una nueva teoría de la relatividad"; *Las Ciencias*, v 23, 1958, p 39-49.

PALACIOS, J.; "Problemas suscitados por la racionalización de las ecuaciones del electromagnetismo"; *INE, Rev. de información electrónica*, Instituto Nacional de Electrónica, nº 4, 1958, p 205-214.

## 1959

BEL, L.; "Introduction d'un tenseur du quatriéme ordre", *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 248, 1959, p 1297-1300.

BEL, L.; "La radiation gravitationnelle", *Seminaire Janet. Mécanique analytique et mécanique céleste*, v2, nº 12, 1959, p 1-16.

BEL, L.; "Quelques remarques sur la classification de Petrov. Etude du cas 2". *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 248, 1959, p 2561-2563.

GARRIDO ARILLA Y P. PASCUAL; "El electrón de la interacción universal de Fermi", *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, serie A Física, v 55A, 1959, p 5-12.

GARRIDO, L.M y P. PASCUAL; "Diagonalization of Hamiltonian", *il Nuovo Cimento*, v 12, nº 3, serie decima, 1959, p 181-190.

GARRIDO, L.M; "El electron de la interacción universal de Fermi"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* 55-A, 1959, p 5-12.

LOPEZ ARROYO, M.; "Espectroscopia astronómica II " (Efecto Doppler)", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1960*, 1959, p 309-402.

MARGALEJO, JOSÉ Mª, "Mecánica del sistema planetario", *Aster*, nº 111, Oct-Dic. 1959.

ORTS ARACIL, JOSÉ MARÍA; *Evocación de una controversia en torno a unos documentos apócrifos*, CSIC, Barcelona, 1959.

PALACIOS, J.; "Carácter peculiar de las ecuaciones de la Geometría y de la Física"; *Physicalia*. nº33, 1959, p1-8, nº34, p 3-7.

PALACIOS, J.; "El espacio y el tiempo en la teoría de Einstein", *Segunda Reunión de Aproximación Filosófico-Científica. Institución "Fernando el Católico"*, CSIC, 1959, p 351-362.

PALACIOS, J.; "La paradoja de los relojes en la teoría general de la relatividad"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v53, 1959, p 495-509.

PALACIOS, J.; "The clock paradox and the possibility of a new theory of relativity"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 53, 1959, p511-523.

PASCUAL Y L.M GARRIDO; "Diagonalization of hamiltonian", *il Nuovo Cimento*, v 12, nº 3, mayo 1959, p 181-190.



SANTALÓ, LUIS ANTONIO; "Sobre las ecuaciones del campo unificado de Einstein", *Rev. de Mat. y física teorica*, Universidad Tucuman, vol 12, 1959, p 31-55.

VELASCO, R. "Espectroscopia astronómica II (Efecto Doppler)", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1960*, 1959, p 309-402.

## 1960

ARCIDIACONO, G.; "Relativita finale e cosmologia", *Collectanea Mathematica*, v 12, 1960, p 4-32.

BEL, L.; "Champ de gravitation avec induction", *C.R.Acad.Sci. Paris*, v 250, 1960, p 2137.

CAPELLA, ALFONSO.; "Sur la quantification du champ électromagnétique libre en relativité restreinte", *Comptes Rendus Acad. Sciences Paris*, v 251, 1960, p 636-638.

DIAZ BEJARANO; "El experimento de Trouton y Noble en la teoría de la relatividad de Palacios"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v56A, 1960, p 225-236.

FERNANDEZ FERRER Y E. DE RAFAEL GAVALDÁ; "Campo estacionario con simetria cilindrica en electrodinámica no líneal de Born-Infeld", *Anales de Soc. Esp. Física y Quim.* v 56 A, 1960, p 273-280.

HERRERA, E.; "¿Transcurre más despacio el tiempo en una astronave?", *Ciencia aeronáutica y astronáutica*, Caracas, nº 72, noviembre 1960, p 9-12.

HERRERA, E.; "El tiempo en una astronave" *Ciencia aeronáutica y astronáutica*, Caracas, nº 73, diciembre 1960, p 7-9.

MOJENA DÍAZ, MARIANO; "De electromagnetismo" *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 54, 1960, p 11-40.

MORAN SAMANIEGO, FRANCISCO; "Una explicación elemental de la paradoja de los relojes", *Revista de Geofísica*, nº 73, 1960, p 45- 53.

OLIJNYCHENKO; "Problemas del tiempo relativista"; *Anales de Soc. Esp. Física y Quim.*, v 56A, 1960, p 191-194.

PALACIOS, J.; "La crisis de la teoría de la relatividad", *Actas de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Argentina (ANCEFN)*, v15, 1960, p 43-54.

PALACIOS, J.; "Los postulados de la nueva teoría de la relatividad"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim* v 56A, 1960, p 195-206. (versión en inglés *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v54, 1960, p313-321).

PALACIOS, J.; "Rehabilitación de Newton", *Physicalia*, nº. 35, 1960, p 19-22.

PALACIOS, J.; "The invariance of the velocity of light"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v54, 1960, p 493-501.

PALACIOS, J.; *Relatividad. Una nueva teoría*, Espasa-Calpe, Madrid, 1960.

SANTALÓ, L.A.; "Sobre las teorías del campo unificado", *Rev. de la Unión Matemática Argentina*, vol 19, 1960, p 195-206.

VIDAL ABASCAL, E. "Generalización de los invariantes integrales y aplicación a la geometría integral en los espacios de Klein y de Riemann", *Collectanea Mathematica*, 1960, p 71-102.

VILLENA, L.; "Sobre la Relatividad", *Physicalia*, nº 37, Marzo 1960, p 3-7.

## 1961

BEL, L.; "Inductions électromagnétique et gravitationnelle", *Annales de l'institut Henri Poincaré*, v 17, nº 1, 1961, p37-57.

- COLINO, ANTONIO; "Una introducción a la teoría de la relatividad", *INE, Revista Española de Electrónica* 1961, p 167-173.
- GALINDO TIXAIRE, ALBERTO; "Notas sobre la inversión temporal"; *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 57-A, 1961, p337-340.
- GALINDO, A. Y SÁNCHEZ DEL RÍO; "Intrinsic magnetic moment as a nonrelativistic measurement", *American Journal Physics*, v 29, 1961, p 582.
- GARRIDO, L.M; "Mecánica Clásica en el Espacio de Hilbert", *Collectanea Mathematica*, 1961, p 219-240.
- GASCON; "Un principio de acción para la mecánica relativista", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 57-A, 1961, p 253-256.
- GULLÓN, E.; "Las estrellas enanas blancas", *Urania*, nº 254, 1961, p167-182.
- MOJENA, M.; "Consideraciones sobre la Teoría Electromagnética", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, v 55, 1961, p 549-561.
- MONTERO ALONSO, "Don Julio Palacios sostiene una controversia con el mundo entero en torno a la Teoría de la relatividad", *Diario ABC*, 30-11-1961, p 31.
- OCHOA, J.; "El grupo de transformaciones de Lorentz", *Gaceta Matemática*, v 13, 1961, p 6-12.
- OLIJNYCHENKO; "Teoría de medidas en sistemas en movimiento", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 57-A, 1961, p 11-14.
- OLIJNYCHENKO; "Teoría de relojes giroscópicos (I y II)"; *Anales de Soc. Esp. Física y Quím.*, v 57-A, 1961, p187-192 y p 193-200.
- PALACIOS, J.; "¿Existe el éter?", *Crisis, Revista Española de Filosofía*, nº 29-32, 1961, p 379-412.
- PALACIOS, J.; "A Reappraisal of the Principle of Relativity as Applied to Moving Interferometers"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v55, 1961, p 201-212.
- PALACIOS, J.; "A simple treatment of the clock paradox", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v55, 1961, p197-199.
- PALACIOS, J.; "Einstein y la Filosofía soviética"; *Las Ciencias*. v26, 1961, p 89-99.
- PALACIOS, J.; "El enigma de la teoría de la relatividad I. Los éxitos"; *Arbor*, nº185, 1961, p 5-22.
- PALACIOS, J.; "El enigma de la teoría de la relatividad. II. La crisis"; *Arbor*, nº 187-88, 1961, p 287-308.
- PALACIOS, J.; "La astronáutica relativista", *Revista de Aeronáutica y Astronáutica*, nº 246, mayo 1961, p 367-372.
- PALACIOS, J.; "Los fundamentos experimentales de la teoría de la relatividad"; *Bol. Acad. Nac. C. Argentina*, v 42, 1961, p 21-28.
- PALACIOS, J.; "Materia, masa y energía"; *Tercera Reunión de Aproximación Filosófico-Científica. Inst. "Fernando el Católico"*, CSIC, 1961, p 177-184.
- PALACIOS, J.; "Relatividad"; *Gran Enciclopedia del Mundo. Durvan S.A.*, Bilbao, tomo 15, 1961, p781-784.
- PALACIOS, J.; "The newtonian law of gravitation in the theory of relativity"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v55, 1961, p191-195.
- PASCUAL, P.; "Partículas y simetrías", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 57-A, 1961, p 15-28.
- PEÑA SERRANO, HIPÓLITO; *Sobre la teoría de la relatividad de Einstein. Las objeciones e impugnaciones...*, Madrid, 1961.

SANTALÓ, L.A.; *Vectores y tensores y sus aplicaciones*, Editorial universitaria de Buenos Aires, 1961.

VELASCO, R.; "Espectros, átomos, estrellas", *Luz*, nº 3, 1961, p 46-55.

WEIER, JOSÉPH; "On axiomatization of the electrodynamics of the Lorentz space", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1961, p 11-14.

## 1962

BALTÁ, J.; "El premio Nobel de Física para 1961", *Physicalia*, nº 40, 1962, p 11-13.

BEL, L.; "La radiation gravitationnelle", *CNRS*, 1962, p 119-126.

BEL, L.; "Les états de radiation et le problème de l'énergie en relativité générale", *Cahiers de Physique*, v 16, 1962, p 59-80 (reeditado como "Radiation States and the problem of energy in General Relativity", *General Relativity and Gravitation*, v 32, nº 10, 2000, p 2047-2078).

CAPELLA, A.; "Sur la quantification du champ de graviton", *Cahiers de Physique*, v 16, nº 137, 1962, p 16-24.

CAPELLA, A.; "Sur le tenseur impulsion-energie du champ de gravitation", *Cahiers de Physique* v 16, nº 144, 1962, p 330-344.

GARRIDO, L.M. y J. SESMA; "Observables de partículas relativistas", *Collectanea Mathematica*, 1962, p 279-286; (Versión inglesa en *American Journal Physics*, v 30, 1962, p 887).

KANTOR, "Direct First-Order Experiment on the Propagation of Light from a Moving Source", *Journal of the Optical Society of America*, v52, nº9, Sept 1962, p 978-984.

MAS FRANCH, LLUIS; "Application de la méthode de variation des constantes au problème des deux corps", *C. R. Acad. Sc. Paris*, v 255, 1962, p. 2376-2378.

PALACIOS, J.; "Das Uhren-Paradoxon in der allgemeinen Relativitätstheorie" en Karl Sapper, *Kritik und Fortbildung der Relativitätstheorie*, Akad.Druk-U.Verl.Graz. Austria, v2, 1962, p 207-213.

PALACIOS, J.; "The relativistic behaviour of clocks"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 56, 1962, p287- 306.

PENSADO IGLESIAS, J.; "Radioastronomía y estructura galáctica", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1963*, 1962, p 310-376.

PENSADO, IGLESIAS, JOSÉ; "Radioastronomía", *Las Ciencias*, 1962, p 380-393.

RAPIER, PASCAL; "The relativity of sir Isaac Newton"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v56, 1962, p 25-36.

SUÑER, ENRIQUE; *Comparación de los universos de Einstein y de De Sitter*, Royal Institut de l'Europe, Torre del Remei, Barcelona, 1962.

VIDAL LLENAS; "Partículas elementales" *Memorias de la R. Acad. Ciencias y Artes de Barcelona*, v 34, nº 10, sesión 15 de Noviembre 1962, p 227-243.

## 1963

BALTÁ, J.; "Fundamentos de radioastronomía", *Aster*, nº 125, 1963, p 18-29.

BALTÁ, J.; "Las enigmáticas emisiones radioeléctricas al azar del planeta Jupiter", *Urania*, 1963, p 129-148.

BEL, L.; "Étude de certains operateurs definis sur les foemes tensorielles", *Annali di Matematica Pura ed Applicata*, v 62, nº11, 1963, p 171-192.

- CAPELLA, A.; "Impulsion-energie et spin du champ de gravitation, en théorie quantique, à l'approximation linéaire" *Seminaire Janet, Mécanique analytique et mécanique celeste*, v 6, nº 4, 1962-1963, p 1-9.
- DUE ROJO, ANTONIO; "Investigación galáctica moderna", *Las Ciencias*, 1963, p169-184.
- FEBRER CARBÓ, JOAQUIN; "La investigación astronómica en 1961", *Urania*, 1963, p 71-78.
- GALDON, EDUARDO; "La unión internacional de Radio Científica (URSI)", *Urania*, 1963, p 81-118.
- GALLEGO-DÍAZ, J.; "Einstein tenía razón"; *ABC*, 8-11-1963, p 21.
- GARRIDO, L.M.; *Mecánica Cuántica*, Rialp, Madrid, 1963.
- HERRERA, E.; "La vitesse de la lumière par rapport aux corps en mouvement", *Le Génie Civil*, v 140, 1963, p 262-264.
- HERRERA, E.; "L'Univers de Descartes", *Le Génie Civil*, París, v 140, jul., ago. sept. y dic. 1963.
- HERRERA, E.; Carta a Julio Palacios, París, 26-11-1963, *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial, Fondo Herrera*, Registro nº 417 (serie 421).
- HERRERA, E.; Carta a Julio Palacios, París, 27-10-1963, *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial, Fondo Herrera*, Registro nº 414 (serie 421).;
- HERRERA, E.; Carta a Julio Palacios, París, 7-10-1963, *Archivo Histórico de la Ingeniería Aeroespacial, Fondo Herrera*, Registro nº 413 (serie 421).
- PALACIOS, J.; "Ficción matemática y realidad física"; *Atlántida*, 6, 1963, p 642-649.
- PALACIOS, J.; "La vitesse de la lumière d'après les équations de Maxwell"; *Bol. Acad. C. Lisboa*, v35, 1963, p 337-345.
- PALACIOS, J.; "Las fórmulas de transformación en la teoría de la relatividad"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v57, 1963, p 65-78.
- PALACIOS, J.; "Óptica de los cuerpos en movimiento. Comentarios al experimento de Kantor"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v57, 1963, p 237-291.
- PALACIOS, J.; "Relatividad, una nueva teoría de la"; *Gran Enciclopedia del Mundo. Durvan S.A.*, Bilbao, tomo 16, 1963, p 370-373.
- PALACIOS, J.; "The Downfall of a Theory", *Newtonian Science Foundation Bolletin*, Richmond, California, 1963.
- PALACIOS, J.; "The inner inconsistency of Einstein's theory"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v57, 1963, p 585-593.
- PALACIOS, J.; "La conjura del silencio", *Diario ABC*, 24-9-1963.
- RAPIER, P.; "A new cosmology, based upon the Hertzian fundamental principle of mechanics"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v57, 1963, p 727-744.
- RAPIER, P.; "A proposed test of the asymmetrical aging absurdity using clock-satellites"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v57, 1963, p 77-86.
- ROMAIN, J.E.; "On some misconceptions about relativistic coordinate transformations"; *il Nuovo Cimento*, v 30, nº 5, 1963, p 1254-1271.
- ROMAIN, J.E.; "A geometrical approach to relativistic paradoxes", *American Journal of Physics*, v 31, 1963, p 576-585.
- ROMAIN, J.E.; "Time measurements in accelerated frames of reference", *Reviews of Modern Physics*, v 35, 1963, p 376-388.
- RUIZ DE GOPEGUI, L.; "¿Qué pasa con la teoría de la relatividad? II", *INE (Instituto Nacional de Electrónica)*, Julio 1963; p 177-179.

RUIZ DE GOPEGUI, LUIS; "¿Qué pasa con la teoría de la relatividad?", *INE (Instituto Nacional de Electrónica)*, nº 21, Enero 1963; p 3-5.

VELASCO, R; "La espectroscopia y el desarrollo de la ciencia actual", *Las Ciencias*, 1963, p 337-349.

WEISSKOPF, V.F.; "El papel de la investigación sobre partículas elementales en el desarrollo de la física moderna", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 57, 1963, p 565-583.

## 1964

AGUILAR PERIS, JULIO.; "La física de los neutrinos", *Las Ciencias*, 1964, p 307-315.

ARCIDIACONO, G.; "Gli spazi di Cartan e le teorie unitarie", *Collectanea Mathematica*, 1964, p 150-168.

CAPELLA, A. "Théorie minkowskienne de la gravitation", *Comptes Rendus Acad. Sciences Paris*, v 258, 1964, p 87-89.

CATALÁ, J, E. VILLAR, P. ZIELINSKY, A. LLEÓ, G. PARDO, R. LLOSÁ Y J.L. GÓMEZ; "Factores que influyen en la determinación del error del campo magnético aplicado a un haz de protones relativistas a partir de su curvatura en emulsiones", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v 60A, 1964, p 13-18.

CERVI, JUAN CARLOS; "Emisión asimétrica de electrones en el Cobalto-60", *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v 57, 1964, p 745.

CODINA VIDAL; "La investigación radioastronómica en las longitudes de onda centimétricas", *Memorias de la R. Acad. Ciencias y Artes de Barcelona*, v 35, nº 3, 1964, p 71-123.

CULLWICK; "Inverse-square law in the theory of relativity", *Electronics & Power*, sec. "Letters to the Editor", Dic. 1964, p 451.

DE RAFAEL, EDUARDO. "Test for the spin of the  $\pi\rho$  (1310) resonance from its decay angular distributions", *Physics Letters*, v 11, nº 3, 1964, p 260-261.

DEMOTSOPOULLOS; "Spot a falacy", *Electronics and Power*, sec. "letters to the editor", Mayo, 1964.

ESSEN; "Spot a falacy", *Electronics and Power*, sec. "letters to the editor", Mayo 1964, p 169.

FEBRER CARBÓ, J.; "Discurso de contestación a Codina Vidal en el acto de su recepcion en la R. Academia Ciencias y Artes de Barcelona", *Memorias de la R. Acad. Ciencias Barcelona*, 1964, p 124-132.

GALINDO, A. Y P. PASCUAL; "Some remarks on the relativistic wave equations", *il Nuovo Cimento*, v 31, nº 1 enero de 1964, p 132-139.

JAGGER; "Spot a falacy", *Electronics and Power*, sec. "letters to the editor", Abril 1964, p 134.

ORTIZ FORNAGUERA, R.; "Sobre una nueva teoría de la relatividad", *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v 58, 1964, p 399-415.

PALACIOS, J.; "El campo electromagnético en los sistemas inerciales móviles", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v58, 1964, p103-142.

PALACIOS, J.; "Les unites electro-magnetiques"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v60B, 1964, p 97-102.

PALACIOS, J.; "L'invariance de la vitesse de la lumière"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v60B, 1964, p 271-276.

- PALACIOS, J.; "Propagación de la luz en los sistemas inerciales móviles. I", *I.N.E.* nº 28, 1964, p 247-256.
- PALACIOS, J.; "Sobre una nueva teoría de la relatividad. Réplica del artículo del Sr. Ortiz Fornaguera", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v58, 1964, p 417-430.
- PALACIOS, J.; "The clock paradox"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v58, 1964, p 51-54.
- PALACIOS, J.; "The inverse square law for the velocity of light"; *Electronics and Power*, secc. letters to editor, oct. 1964, p 362-363.
- PETIT, E. *Teoría física del Universo*, Barcelona, 1964.
- ROSSER; "Spot a falacy", *Electronics and Power.*, sec. "letters to the editor", Junio 1964.
- RUDEFER; "Spot a falacy", *Electronics and Power.*, sec. "letters to the editor", Agosto 1964.
- RUIZ DE GOPEGUI, L.; "¿Qué pasa con la teoría de la relatividad?", *INE (Instituto Nacional de Electrónica)*, nº 28, Octubre 1964; p 319-321.
- SCHWELB; "Spot a falacy", *Electronics and Power.*, sec. "letters to the editor", Junio 1964, p 211.
- SESMA, J. BIEL Y L.M. GARRIDO; "Relation between Generalized Foldy-Wouthuysen and Lorentz Transformations", *American Journal of Physics*, 1964, p 559-562.
- WALDRON; "Spot a falacy", *Electronics and Power.*, sec. "letters to the editor", Marzo 1964, p 92 y Mayo 1964, p 168.
- WEARING; "Spot a falacy", *Electronics and Power.*, sec. "letters to the editor", Abril 1964.
- YNDURÁIN, FRANCISCO J.; *Definición de hamiltonianos y renormalización en algunos modelos de teoría cuántica de campos*, Tesis doctoral, Zaragoza, 1964 (También en *Revista de la Acad. Ciencias Zaragoza*, v 20, 1965, p129-151).

## 1965

- ARCIDIACONO, G.; "Relativita cinematica e cosmologia proiettiva", *Collectanea Mathematica*, 1965, p 180-196.
- BALTÁ, J.; "Recientes progresos en el conocimiento de la radiación cósmica. Constitución química y energética de los rayos cósmicos", *Las Ciencias*, 1965, p 171-182.
- BEL, L.; "La radiación gravitacional", *Actas de la I Reunión de física teórica: Santander 16-18 Agosto 1965*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, 1965.
- BIEL, JESÚS; "Sobre una transformación entre sistemas inerciales", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v61A, 1965, p293-304.
- CAPELLA, A. "Sur les théories minkowskiennes de la gravitation", *Comptes Rendus Acad. Sciences Paris*, v 260, 1965, p1341-1344 (También aparece como "Flat theory of gravitation", *il Nuovo Cimento*, v 42, nº 2, 1966).
- CAPELLA, A.; "Teorías minkowskianas lineales de la gravitación", *Actas de la I reunión de Física teórica*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Santander, 1965.
- CAPELLA, A.; "Cuantificación del campo gravitatorio" *Actas de la I reunión de Física teórica*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Santander, 1965.
- COLINO, A.; "El Universo", *INE. Revista Española de Electrónica*, 1965, p25-30, p 105-111, p 213-216. (Es el mismo que "El Universo: notas de un aprendiz de cosmología", discurso inaugural del curso 1964-1965, *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1964).
- DE RAFAEL, ED. Y CLAUDE HENRY, "Relativistic theory of angular correlations in successive two-body decays og unstable particles", *Ann. Inst. Henri Poincaré*, vol. II, nº 2, 1965, p. 87-104.

DE RAFAEL, ED.; "Correlaciones angulares: aplicación al estudio de partículas y resonancias", *Actas de la I reunión de Física teórica*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Santander, 1965.

GALINDO, A.; "On the uniqueness of the position operator for relativistic elementary systems", *il Nuovo Cimento*, v 37, nº 2, mayo de 1965, p 413-422.

GARCÍA, A., "El Instituto de Física Corpuscular de la Facultad de Ciencias de Valencia", *Physicalia*, nº 47, 1965, p 5-7.

Henry, Claude y Eduardo de Rafael; "Relativistic theory of angular correlations in a successive two-body decays of unstable particles", *Ann. Institut Henri Poincaré A*, v 2, nº2, 1965, p 87-104.

IÑIGUEZ ALMECH Y RAFAEL CID PALACIOS, *Mecánica teórica clásica y relativista*, ed. Dossat, Madrid, 1965.

KRZYWOBLOCKI,; "Energy Principle vs. Mach Principle", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 59, 1965, p 501-506.

MARAVALL, D.; *Mecánica y cálculo tensorial para ingenieros*, Dossat, Madrid 1965.

MARTÍNEZ SALAS; *Soluciones relativistas al problema cosmológico, Lección inaugural del curso 1965-1966 de la Universidad de Valladolid*, Valladolid, 1965.

ORTIZ FORNAGUERA, R.; "Comentarios a dos recientes artículos de J.Palacios", *R.Acad. Ciencias Madrid*, v 59, 1965, p 439-446.

PALACIOS, J.; "Dinámica Relativista"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v59, 1965, p 37-69.

PALACIOS, J.; "Inercia y gravitación. Estudio crítico de la teoría general de la relatividad", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v59, 1965, p 461-499.

PALACIOS, J.; "La axiomática relativista. Réplica a los comentarios del Sr. Ortiz Fornaguera" ; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v59, 1965, p 447-460.

PALACIOS, J.; "Las fórmulas de transformación en la teoría de la Relatividad" *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Argentina (ANCEFN)* v20, 1965, p 65-79.

PALACIOS, J.; "Propagación de la luz en los sistemas inerciales móviles. II"; *I.N.E., Instituto Nacional de Electrónica*, nº29, 1965, p 4-12.

PALACIOS, J.; "Spot the fallacy"; *Electronics and Power*. Jul. 1965, p 239.

PALACIOS, J.; "The Transformations Laws in Relativity"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v59, 1965, p 23-35.

TORROJA MENÉNDEZ, J.M.; "Los satélites artificiales y la astronomía" *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1966*, 1965, p 312-378.

YNDURÁIN, F J.; "S-Matrix formalism in the Lee Model", *Journal of Mathematical Physics*, 1965.

## 1966

ÁLVAREZ LÓPEZ, JOSÉ Y J.C. CHAUTEMPS.; "Interferencia gravitacional en el efecto Einstein", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 60, 1966, p 585-595.

BEL, L. Y ESCARD; "Problemes d'interpretation des  $ds^2$  stationnaires, rigides ou conformement rigides", *Rend. Accad. Nazionale del Lincei*, ser VIII, v 41, fasc 6, 1966, p 476-486.

BIEL, J; "Algunas conclusiones de las transformación naturales", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v 61A, 1966, p 305-310.

BIEL, J; "Analogía entre transformaciones de Lorentz y las que diagonalizan los hamiltonianos", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v62A, 1966, p 119-127.

GALINDO, A. Y P. PASCUAL; "On the electromagnetic form factor normalisation", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 62-A, 1966, p 109-113.

HERRANZ, ANTONIO; "El corrimiento al rojo de las rayas espectrales", *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v 60, 1966, p 597-599.

LUCINI, M.; *Principios fundamentales de las nuevas mecánicas (relativista, ondulatoria, cuántica)*, Ed. Labor, Barcelona, 1966.

MARAVALL, D.; "Lógica relativista (Lr). Aplicaciones a las redes", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1966, p 309-328.

MAS, L.; "Étude du problème des deux corps par variation de la métrique de Schwarzschild". *C. R. Acad. Sc. Paris*, v. 262, 1966, p 266-269.

MIRANDA, LORENZO; *Teoría del Universo y física gravitatoria*, Madrid, 1966.

ORÚS NAVARRO, J.J.; *Apuntes de astronomía*, Facultad de Ciencias, Universidad de Barcelona, 1966.

PALACIOS, J.; "The Inverse square law in the theory of relativity"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v60, 1966, p 27-34.

PALACIOS, J.; "The Relativistic Measures and Units"; *il Nuovo Cimento. Serie A*, v 43, 1966, p 413-422.

PALACIOS, J.; *La axiomática relativista*, Editora Nacional. Colección Ateneo, 1966.

PALUZIE BORRELL, A. "Progresos de la astronomía en 1965", *Urania*, 1966, p 26-68.

PASCUAL, R. Y P. PASCUAL, "Muon capture by Helium-3", *il Nuovo Cimento B*, v 44, nº 2, 1966, p 434-451.

PATY, AGUILAR Y F. SENENT; "Interracciones fotonucleares de muones de alta energía"; *Anales Soc. Esp. Física y Quím.* v62A, 1966, p 93-97.

ROMAÑA, ANTONIO, *Idea sobre el estado actual de la cosmología*, CSIC, Patronato Alfonso el Sabio, Publicaciones del Observatorio del Ebro, memoria nº 12, Tortosa, 1966 (también aparecido como Memoria de la R. Acad. Ciencias Madrid, Madrid, 1966).

SANTALÓ, L.A.; "On Einstein's unified field theory", en *Perspectives in Geometry and Relativity*, Indiana University Press, 1966, p 343-352.

SESMA, JAVIER; "On the Chakrabarti transformation", *Journal Mathematical Physics*, vol 7, 1966, p 1300.

TORROJA, J.M.; "Los quasars, nueva clase de objetos celestes", *Las Ciencias*, 1966, p 173-181.

YNDURÁIN, F. J.; "The Schrödinger equation in the NO sector of the relativistic Lee model", *Anales de Soc. Esp. Física y Quím.* v62A, 1966, p 317-318.

YNDURÁIN, F.J.; "Little groups of the (n+1)-dimensional Lorentz Group"; *il Nuovo Cimento*, v 45, 1966, p 239-240.

YNDURÁIN, F.J.; "S-Matrix formalism, charge renormalisation, and definition of the hamiltonian in a simple Field-Theoretical Model"; *Journal of Mathematical Physics*, v.7, nº 6, 1966, p 1133-1136.

## 1967

ALONSO, J.L. Y F.J. YNDURÁIN, "On the Continuity of Causal Automorphisms of Space-Time", *Communications in Mathematical Physics*, v 4, 1967, p 349-351.

BALLBER L.J. ; "Achatamiento del disco solar", *Aster*, nº 140, 1967 p 31-32.

BALTÁ, J. "Efecto Mössbauer", *Gran Enciclopedia Durvan*, Bilbao, tomo 21, 1967, p 805.



- BALTÁ, J. "Ondas gravitatorias", *Gran Enciclopedia Durvan*, Bilbao, tomo 22, 1967, p 860.
- BEL, L. Y ADNAN HAMOUI; "Les conditions de raccordement en relativité générale", *Annales de l'institut Henri Poincaré, section A Physique théorique*, v 7 n<sup>o</sup>. 3, 1967, p 229-244.
- BIOSCA, FRANCISCO; "Relatividad. Teoría de la ", *Gran Enciclopedia Durvan*, Apéndice t 21, Bilbao, 1967, p 947-948.
- BOYA, L. Y JOSÉ AZCÁRRAGA; "A group theoretical derivation of Maxwell equations", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, v63A, 1967, p 143-146.
- GALINDO, A.; "Lie Algebra Extensions of the Poincare Algebra"; *Journal of Mathematical Physics*, v 8, 1967, p 768-774.
- GARRIDO, L.M y L. Oliver; "On the Foldy-Wouthuysen Transformation for Particles in an Electromagnetic Field", *il Nuovo Cimento*, v 52 A, n<sup>o</sup>2, 1967, p 588-605.
- HERRERA, E.; *Memorias* (Manuscrito 1967), edición de Thomas F. Glick y José M. Sánchez Ron, Ediciones Universidad Autónoma de Madrid, 1986.
- MAS, L.; "Sur le problème du mouvement des deux ou des trois corps en relativité générale". *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, v 7 n<sup>o</sup>1, 1967, p 1-76.
- MOHOROVICIC, STJEPAN; A contribution to the Knoledge of antimatter; *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v61, 1967, p 545-554.
- PALACIOS, J.; "Métrica, metrología y geometría", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v61, 1967, p 537-544.
- PALACIOS, J.; "Nueva Teoría de la Relatividad"; *Gran Enciclopedia del Mundo. Durvan S.A.* Bilbao, Apéndice 1, 1967, p 948-949.
- PALUZIE Borrell, A.; "Los progresos en la investigacion astronómica en el año 1966", *Urania*, 1967 p 42-72.
- PODLAHA, M Y NAVRATIL, E; "Formulation of the axioms for deriving the Lorentz transformation, Galileo transformation and Palacios transformation" *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v61, 1967, p 555-562.
- RAPIER, P.; "A new understanding of the Compton effect", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 61, 1967, p 67-69.
- YNDURÁIN, F.J.; "On the continuity of causal automorphisms of Space-Time"; *Communications in Mathematical Physics*, v 4, 1967, p 349-351.

## 1968

- ARCIDIACONO, G.; "L'universo di De Sitter e la relativita proiettiva", *Collectanea Mathematica*, 1968, p 52-71.
- ARCIDIACONO, G.; "Magnetohidrodinamica e cosmologia", *Collectanea Mathematica*, 1968, p 178-202.
- BEL, L.; "Le champ scalaire en relativité restreinte", *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, v8 n<sup>o</sup>2, 1968, p 205-216.
- CODINA VIDAL; "Contribución de las técnicas espaciales a la investigación astronómica", *Memorias de la R. Acad. Ciencias y Artes de Barcelona*, 1968, p 25-73.
- FERNÁNDEZ, F, J. CASAS VÁZQUEZ, V. PEREZ VILLAR, V. GANDÍA, R. KAISER, R, AIGUABELLA Y R, SCHMITT, "Nuevos métodos de discriminación de trazas de iones cósmicos en emulsiones ionográficas", *Anales de Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 64(A), 1968, p 235-241.
- GALINDO, A "Propagación instantánea en los sistemas cuánticos"; *Anales Soc. Esp. Física y Quim.* v64A, 1968 p 141-147.

GARCÍA PÉREZ, Pedro Luis.; "Estructura compleja en la teoría clásica de campos", *Collectanea Mathematica*, 1968, p 155-175.

GARCÍA PÉREZ, PEDRO LUIS; "Geometría simpléctica en la teoría clásica de campos", *Collectanea Mathematica*, 1968, p 73- 134.

MASRIERA, MIGUEL; "Prólogo a *Einstein. Perfil de un hombre*, 3ª ed, de Peter Michemore", ed Labor, Barcelona, 1968.

OLIVER, L. "Hamiltonian for a Kemmer particle in a electromagnetic Field", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 64A, 1968, p 407-410.

PALACIOS, J.; "La nueva dinámica antirrelativista"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v62, 1968, p 69-132.

PALACIOS, J.; *Observaciones sobre el documento S.U.N. 65-3.*; Comité Español de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada, Madrid, 1968.

SÁNCHEZ DEL RIO, CARLOS; "On the relativistic corrections to the Schrödinger equation", *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, serie A Física, v 64A, 1968, p 321-324.

SANTOS, E.; "Is there an electromagnetic background radiation underlying the quantum phenomena?", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 64A, 1968, p 317-320.

SANTOS, E.; "Solución de las ecuaciones de Einstein-Maxwell para una corriente eléctrica cilíndrica estacionaria", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 64A, 1968, p 283-285.

WEIER, J. "Zur einbettung des reellen Lorentzraumes in die Algebra der komplexen 4-Matrizen", *Rev. R.Acad. Ciencias Madrid*, v 62, 1968, p 701-723.

ZUBIRI, X.; *Estructura dinámica de la realidad*, 1968, (publicado en 1989, Alianza Editorial, Madrid).

## 1969

ARCIDIACONO, G.; "L'universo di De Sitter e la Meccanica", *Collectanea Mathematica*, 1969, p 231-255.

AZCARRAGA, J.A Y LUIS BOYA; "On the formulatiuon of spin zero and one particle equations" *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 65A, 1969, p 73-76.

BALLBER L.J. ; "Detección de ondas de gravitación", *Aster*, nº 145, 1969, p 45-46.

BEL, L. y LEAUTE, B.; "Champ scalaire et configurations d'équilibre de grosses masses", *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, v10 nº 3, 1969, p 317-348.

BEL, L.; "Schwarzschild Singularity", *Journal of mathematical Physics*, v 10, 1969, p 1501-1503.

BEL, L; "Kinetic theory of Cosmology", *The astrophysical Journal*, v 155, 1969, p 83-87.

GOODINSON, P.A.; "Null field solutions of the Einstein-Maxwell field equations", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 65A, 1969, p 355-358.

GOODINSON, P.A.; "The electromagnetic tensor in riemannian space-time", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 65A, 1969, p 351-354.

HERRANZ, A.; *Algunas consecuencias de la teoría de la relatividad de Palacios*, Tesis doctoral, Universidad de Madrid, Facultad de Ciencias, 1969.

LAPIEDRA, R. "Sur les équations d'ordre supérieur du champ gravitationnel", *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, v 11 nº 3, 1969, p. 277-307.

MAS, L.; "Étude des espaces-temps vides qui admettent une métrique du type de Kerr", *C. R. Acad. Sc. Paris*, v 268, 1969, p 441-444.

PALACIOS, J.; "Incompatibilidad del principio de homogeneidad física con la teoría de la relatividad", *Libro Homenaje al Prof. D. Obdulio Fernández con motivo del Cincuentenario de su ingreso en la Real Academia de Ciencias*, R. Acad. Ciencias MAdrid, 1969, p 165-175.

PALACIOS, J.; "Incompatibility of the theory of relativity with Giorgi's system of units", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v63, 1969, p 467-476.

PASCUAL, P.; "Premio Nobel de Física 1959", *Physicalia*, nº 37, Marzo 1969, p 9-10.

SÁNCHEZ GÓMEZ, J.L.; "Relativistic terms in the reaction  $3\text{He}(\pi, \pi^+)3\text{H}$ ", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 65A, 1969, p 175-180.

## 1970

BALTÁ, J.; "Homenaje a J. Palacios. Intervención de D. José Baltá Elías"; *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v64, 1970, p 663-679.

BEL, L.; "Dynamique des Systemes de N Particules Ponctuelles en Relativité Restreinte", *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, v 12, 1970, p 307-321.

FERNÁNDEZ, OBDULIO; "Intervención en homenaje a Julio Palacios", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 64, 1970, p 649-662.

LAÍN ENTRALGO, "Intervención de D. Pedro Laín Entralgo en homenaje a Julio Palacios", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, 1970, v 64, p 681-689.

LAPIEDRA, R.; "Le champ électromagnétique singulier généralisé dans l'espace-temps de Schwarzschild". *Annales de l'institut Henri Poincaré (A)*, 12, nº 2, 1970, p 183-213.

MAS, L.; "Une solution des équations d'Einstein avec champ magnétique", *C. R. Acad. Sc. Paris*, v 270, serie A, 1970, p 837-840.

MAS, L.; *Estudio sobre los espacios-tiempos del tipo de Kerr-Schild. Resumen de la Tesis presentada para aspirar al grado de Doctor en Ciencias*, Universidad de Barcelona, Barcelona, 1970.

PALACIOS, J.; "Ricardo San Juan y el Análisis Dimensional", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v64, 1970, p 331-355.

VEINIK, ALBERT VICTOR; "Carta al editor relativa al efecto de la masa sobre la frecuencia", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v64, 1970, p 965-966.

## 1971

BALTÁ, J. "Relatividad", *Gran Enciclopedia Durvan*, Bilbao, Apéndice 1971, p 805.

BEL, L.; "Les Sources des Solutions Statiques de Schwarzschild et de Curzon", *General Relativity and Gravitation*, v 1, nº 4, 1971, p 337-347.

BEL, L.; "Predictive relativistic mechanics" *Annales de l'Institut Henri Poincaré A*, v 14, nº 3, 1971, p 189-203.

CAMENZID, M. "Report on GRG6, The International Conference on Gravitation and Relativity, Copenhagen, 5<sup>th</sup>-10<sup>th</sup> July 1971", *General Relativity and Gravitation*, v 2, nº 4, 1971, p 387-407.

HERRANZ, A. Y JULIO PALACIOS; "Estudio del corrimiento hacia al rojo en la teoría de la gravitación de Palacios, mediante las longitudes de onda"; *Anales de Soc. Esp. Física y Quim.*, v 67A, 1971, p. 397-399.

ORTE, A., "El tiempo atómico internacional", *Electrónica y física aplicada*, 1971, v 14, p 374-378.

PENSADO, J.; "Pulsares y Cuásares", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1972*, 1971, p 313-380.

VEINIK, ALBERT VICTOR; "Carta al editor. Acerca del problema de la existencia del neutrino", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v65, 1971, p 735-738.

## 1972

CERVI, J.C.; *El pensamiento vivo de Julio Palacios*, Instituto privado de investigaciones físicas y biofísicas, Córdoba, R. Argentina, 1972.

GARCÍA LAHOZ; "Acerca del corrimiento gravitacional al rojo", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 68A, 1972, p 151-152.

GODED ECHEVARRÍA, FEDERICO; "Comprobación aproximada del potencial no-estático producido por la partícula  $\pi^+$ ", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 66, 1972, p 389-425.

LÓPEZ ARROYO, M.; "La espectroscopia en el Observatorio Astronómico de Madrid", *Boletín del Observatorio Astronómico de Madrid*, v 8, nº 2, 1972, p 3-15.

PALUZIE Borrell, A.; "Evolución estelar", *Urania*, 1972, p 123-143.

PASCUAL, P., R. TARRACH Y F. VIDAL; "Muon capture in deuterium", *il Nuovo Cimento A*, v 12, nº 1, noviembre 1972, p 241-248.

REBOLLEDO, M.A. Y E. BERNABEU; "Calculation of energies wave functions and transition probabilities of magnetic hyperfine atomic sublevels", *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza*, v 27, 1972, p 289-319.

ROMAÑA, A. "Quasares y pulsares", *Urania*, 1972, p 78-122.

SANTALÓ, L.A.; "Sobre algunas teorías asimétricas del campo unificado", *Rev. R. Acad. Ciencias Madrid*, vol 66, 1972, p 395-425.

SANTALÓ, L.A.; "Unified fields theories of Einstein's type deduced from a variational principles Conservation laws", *Tensor*, vol 25, 1972, p 383-389.

## 1973

ÁLVAREZ, E. Y LLUIS BEL; "Generalized angular-velocity formula and kinematical analysis of 3C 279", *The Astrophysical Journal*, v 179, 1973, p 391-393.

BEL, L. Y JESÚS MARTÍN, "Approximate solutions of Predictive Relativistic Mechanics for the Electromagnetic Interaction II", *Physical Review D*, v 8, n 12, 1973, p 4347-4353.

BEL, L., A. SALAS Y J.M. SÁNCHEZ RON; "Approximate solutions of Predictive Relativistic Mechanics for the Electromagnetic Interaction", *Physical Review D*, v 7, n 4, 1973, p 1099-1106.

BEL, L.; "Hamiltonian Poincaré invariant systems", *Annales de l'Institut Henri Poincaré A*, v 18, nº1, 1973, p 57-75.

GARCÍA LAHOZ; "Acerca de la onda fotónica", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 69A, 1973, p 245-258.

GODED, F.; "Elementary particle fields in a curved Riemann space; a unified theory", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 67, 1973, p 411-439.

GODED, F.; "Structure, potentials, and state vectors of free central static gravitational fields", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 67, 1973, p 441-466.

GODED, F.; "The perihelic shift of Mercury, Venus and the Earth and the deflection of light rays grazing the sun. New relativistic computations and some of their conceptual implications", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 67, 1973, p 573-598.

LAPIEDRA, RAMÓN; *Mecánica relativista predictiva de dos cuerpos e invariancia por paridad*, Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 1973.

MARAVALL, D.; Darío; *Grandes problemas de la filosofía científica*, Editora Nacional, 1973.

MARTÍN, JESÚS; *Simetría axial en relatividad general. Métrica de Kerr*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 1973.

OLIVERT PELLICER, JOAQUIN; *Estudio relativista de un fluido perfecto termodinámico de masa material variable en procesos reversibles*, Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, 1973. (También en *Collectanea Mathematica*, nº 27, 1976, p 167-218).

TARRACH Y P. PASCAL; "Relativistic study of the reaction  $\nu \mu + d \rightarrow p + p + \mu^-$ ", *il Nuovo Cimento A* v 18, nº 4, diciembre 1973, p 760-770.

## 1974

ÁLVAREZ, E. Y J.M GRACIA BONDÍA; "Absorption Lines of Quasiestellar Objects: A Kinematical Description", *Astronomy and Astrophysics*, v 36, nº 2, 1974, p 299-303.

ARCIDIACONO, G.; "L'universo di De Sitter e l'astrofisica", *Collectanea Mathematica*, v 25, 1974, p 296-316.

BEL, L. Y J. MARTÍN, "Approximate solutions of Predictive Relativistic Mechanics for short-range scalar interactions", *Physical Review D*, v 9, n 10, 1974, p 2760-2766.

GODED, F.; *Relatividad general: estado actual y tendencias previstas*; CSIC, Instituto de España, Madrid, 1974.

GRACIA BONDÍA, *Los objetos cuasiestelares y la teoría cinética de la cosmología*, Tesis Doctoral, UAM Madrid, 1974.

PASCUAL, P. Y L. MAS; "Particle in a electromagnetic field: The Lorentz-Dirac equation", *Physical Review D*, v 9, nº 8, 1974, p 2482-2483.

SALAS, A. Y J.M. SÁNCHEZ RON; "Predictive Solutions of Classical Electrodynamics", *il Nuovo Cimento*, v 20B, nº 1, 1974, p 209-223.

## 1975

ÁLVAREZ, E., L. BEL Y JM. GRACIA BONDÍA; "Kinematical Description of Quasi-stellar Objects", *Astronomy and Astrophysics*, v 40, nº 4, 1975, p 381-386.

ÁLVAREZ, ENRIQUE; *El equilibrio Liouville en Relatividad General*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 1975.

BEL, L. Y J. MARTÍN, "Formes hamiltoniennes et systèmes conservatifs", *Annales de l'Institut Henri Poincaré, section A*, v 22, nº 3, 1975, p 173-199.

BOYA, LUIS Y JOSÉ M. CERVERÓ; "Contact Transformations and Conformal Group. I. Relativistic Theory", *International Journal of Theoretical Physics*, v 12, nº1, 1975, p 47-54.

CANAL, R.; "Estrellas de neutrones en sistemas estelares dobles" *1ª asamblea de astronomía y astrofísica. Comunicaciones, Tenerife del 8 al 13 de septiembre de 1975*, Instituto Universitario de Astrofísica de la Universidad de la Laguna, 1976, p 823-826.

CANAL, RAMÓN; "Colapsos y explosiones estelares, rayos cósmicos y nucleosíntesis", *1ª asamblea de astronomía y astrofísica. Comunicaciones, Tenerife del 8 al 13 de septiembre de 1975*, Instituto Universitario de Astrofísica de la Universidad de la Laguna, 1976, p 739-751.

CIUDAD PLATERO, JUAN Y ÁLVARO LÓPEZ GARCÍA; "Evolución dinámico-cosmológica del sistema tierra-luna", *1ª asamblea de astronomía y astrofísica. Comunicaciones, Tenerife del 8 al 13 de*

septiembre de 1975, Instituto Universitario de Astrofísica de la Universidad de la Laguna, 1976, p 93-101.

GODED, F.; "Cosmological model imposed by a unified theory", *General Relativity and Gravitation*, v 6, nº 1, febrero 1975, p 119-121.

GODED, F.; "Einstein and Newton's theories within the same formulation of the gravitational field", *General Relativity and Gravitation*, v 6, nº 1, febrero 1975, p 115-118.

GODED, F.; "Gravedad en el espacio no vacío", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 69, 1975, p 41-48.

KUNDANMAL SUKHWANI, PREM; "Modelos teóricos de curvas de luz. Su aplicación al sistema Beta Lyrae", *Urania*, nº 284, Julio-Diciembre 1975, p1-56.

ROCA, TEODORO; "Explosiones en núcleos estelares degenerados", *1ª asamblea de astronomía y astrofísica. Comunicaciones, Tenerife del 8 al 13 de septiembre de 1975*, Instituto Universitario de Astrofísica de la Universidad de la Laguna, 1976, p 803-815.

SÁNCHEZ RON, JM Y SANZ, JOSÉ LUIS; "Momentum and angular momentum for some exact solutions of Fokker's electrodynamics", *Journal of Physics A*, v 8, nº 12, 1975, p 1975-1981.

SANTALÓ, L.A.; "Sobre las geodésicas del universo de Gödel-Synge" *Volumen homenaje al profesor Lora Tamaño*, *R. Acad. Ciencias de Madrid de Madrid*, 1975, p 51-69.

## 1976

ÁLVAREZ, E. "On the transport equations for a one-component relativistic gas", *Journal of Physics A*, v 9, nº 11, 1976, p 1861-1875.

ÁLVAREZ, E.; "On the generalized relativistic Liouville equilibrium", *Journal of Physics A*, v 9, nº5, 1976, p 687-696.

BEL, L. Y XAVIER FUSTERO; "Mécanique relativiste prédictive des systèmes de N particules". *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, 25 no. 4, 1976, p. 411-436.

BEL, L.; *Mecánica relativista predictiva*, (inédito), curso impartido en la Universidad Autónoma de Barcelona en mayo 1976.

CANAL, R. Y SCHATZMAN; "Non explosive collapse of white-dwarfs", *Astronomy and Astrophysics*, v 46 (2), 1976, p 229-235.

FERNÁNDEZ, F., J. MEDINA, J. SEQUEIROS, A. VIDAL-QUADRAS, M. ORTEGA Y A. DURA; "Determination of the charge of relativistic heavy primaries in cosmic radiation by photometric and  $\delta$ -ray counting methods", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, v 72A, 1976, p 38-42.

GAMBI FERNÁNDEZ, JOSÉ M.; *Movimientos rígidos en relatividad*, Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid, 1976.

GODED, F.; "Movimiento radial de partículas con masa en reposo no nula en una geometría de Schwarzschild", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 70, 1976, p 695-708.

LAPIEDRA, R. Y L.MAS; "Tyme-symetric classical electrodynamics for two particles up to order  $1/c^5$ ", *Physical Review D*, v 13, n 10, 1976, p 2805-2810.

LAPIEDRA, R. Y MUSSONS; "On momentum and angular momentum in predictive relativistic mechanics", 109-113, *Anales de la Soc. Esp. Física y Quím., serie A Física*, v 72A, 1976, p 109-113.

LAPIEDRA, R.; *Les equacions de la mecànica relativista predictiva. Una família de solucions*, Societat catalana de Ciències físiques, químiques i matemàtiques, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 1976.

LÓPEZ RAMOS, ANGEL LUIS; *Análisis de la métrica espaciotemporal en puntos de un dominio finito de un sistema no inercial*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 1976.

SÁNCHEZ RON, JOSÉ MANUEL; "On the equivalence between action-at-a-distance and non-linear field theories:three-body forces", *Journal of Physics A*, v 9, nº 12, 1976, p L175-L177.

SÁNCHEZ-RON, J.M.; "Approximate solutions of predictive relativistic mechanics for the gravitational interaction", *Journal of Physics A*, v 9, nº 11, 1976, p 1877-1885.

SANZ, JOSE LUIS Y JESUS MARTIN; "Systèmes non isolés de deux particules ponctuelles dans la cadre de la mécanique relativiste prédictive" *Annales de l'Institut Henri Poincaré, section A*, v 24, nº 4, 1976, p 347-358.

VAZQUEZ, LUIS, "Interaction of classical Dirac and Klein-Gordon fields", *Anales Soc. Esp. Física y Quim*, v 72, 1976, p 196-199.

VERDAGUER OMS, ENRIC; *Problema de n cuerpos en relatividad general e invariancia de las ecuaciones del movimiento*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, 1976.

## 1977

ABELLAN, J. A. NAVARRO Y E. ÁLVAREZ; "Thermodynamics and Cosmology", *Journal of Physics A*, "Letter to the editor", v 10, nº7, 1977, p L129-L130.

BAILON Y SÁNCHEZ GOMEZ; "The spectrum of charmonium in a relativistic potential model", *Anales Soc. Esp. Física y Quim., serie A Física*, v 73A, 1977 p 115-116.

BONA GARCÍA, CARLOS; *Interacció de dos díons en mecànica relativista predictiva*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, 1977.

CANAL, R. Y J.ISERN; "Explosiones estelares" , *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, 1977, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz, Tomo II, 1977, p 443-446.

CANAL, R.; "Hidrodinámica post-newtoniana de un colapso estelar" , *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, 1977, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz, v II, 1977, p 439-442.

CANAL, R.; "Discos de captura en torno a objetos colapsados" *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, 1977, v II, 1977, p 447-450.

CASASÚS LATORRE, LUIS; "Trayectorias de fotones y homogeneidad del universo", *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, 1977, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz, v II, 1977, p 541-548.

CORTES AZCOITI, JOSÉ LUIS; *Estudio relativista de las desintegraciones electromagnéticas y débiles de baryones en el modelo quark*, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 1977.

FUSTERO, X., L. MAS Y R. LAPIEDRA; "Predictive relativistic mechanics of magnetic monopoles and electric charges", *Physical Review D*, v 16, nº 12, 1977, p 3474-3482.

GONZALEZ-CASCON,; "Special relativity with a discrete spectrum of singular velocities", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 73A, 1977, p 151-158.

LABAY, JAVIER; "Procesos neutrínicos y evolución de núcleos estelares degenerados" *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, 1977 (Tomo II), p 451- 458.

MOLES VILLAMATE, M.; "Sobre la existencia de desplazamientos hacia el rojo anormales", *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, tomo II, 1977, p 681-688.

MOLES VILLAMATE, MARIANO; "Situación actual en cosmología observacional", *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, Cadiz, tomo II, 1977, p 549-555.

MOLINA, A., E. BATTANER, JM QUINTANA; "Dependencia estacional de las ondas de gravedad y su posible implicación con la anomalía invernal", *II Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica*, tomo II, 1977, p. 749-752.

Sanz Estévez, José Luis; *Sistemas aislados y no-aislados en el marco de la mecánica relativista predictiva*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 1977.

TEJADA PALACIOS; "Estudios Mossbauer de los estados de carga y simetrías del  $^{57}\text{Fe}$  en diversas espinelas de cobalto, *Anales Soc. Esp. Física y Quím*, serie A Física, v 73A, 1977, p 39-44.

## 1978

BONA, C., X. FUSTERO Y L. MAS; "Dyon-Dyon interaction in predictive relativistic mechanics", *Physical Review D*, v 18, nº 12, 1978, p 4470-4479.

FUSTERO, XABIER Y R. LAPIEDRA; "Equivalence of two formalisms of predictive relativistic mechanics", *Physical Review D*, v 17, nº 10, 1978, p 2821-2823.

GARCÍA GONZALO, LUIS; *Estudio clásico de un modelo relativista de partícula*, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 1978.

GODED, F.; *Introducción a la historia de la física del siglo XX*; UNED, Madrid, 1978.

MARAVALL, D.; "Sobre los principios de mínimo de la electrodinámica y de la mecánica clásica y relativista", *Revista R. Acad. Ciencias de Madrid*, v 72, 1978, p 365-383.

OLIVERT PELLICER, J.; "Conservación de masa material en el proceso de expansión del universo", *Collectanea Mathematica*, 1978, p 7-10.

RAMÍREZ MITTELBRUN, *Análisis grupal de la aproximación galileana en teoría cuántica relativista*, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 1978.

TEN, ANTONIO E.; *Sobre los principios que sirven de base a la relatividad restringida*, Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, 1978.

VERDAGUER, E.; "Predictive relativistic mechanics of gravitating masses", *Annales de l'Institut Henri Poincaré, section A*, v 28, nº 4, 1978, p 379-397.

## 1979

ÁLVAREZ GAUME; "On the radiation-reaction terms which appear in classical electrodynamics", *Anales Soc. Esp. Física y Quím.*, serie A Física, v 75A, 1979, p 195-197.

GALINDO, A.; "Agujeros negros: dinámica clásica, muerte cuántica", *Conmemoración del centenario de Einstein*, R. Acad. Ciencias Madrid, Madrid, 1979.

GARCÍA ESTEVE, JOSÉ VICENTE; *Desintegraciones electromagnéticas y débiles de mesones en un modelo quark relativista*, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza 1979.

GODED, F.; "Cosmologías relativistas y algunas de sus implicaciones filosóficas", en *Conmemoración del centenario de Einstein. Curso de conferencias desarrolladas durante los meses de marzo a mayo de 1979*, Real Acad. Ciencias Madrid, 1979 (2ª edición 1987).

IBAÑEZ MEDRANO, JESÚS; *Aproximación de movimiento rápido en relatividad general*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 1979.

LAPIEDRA, R. Y A. MOLINA; "Classical predictive electrodynamics of two charges with radiation: General framework. I", *J. Math. Phys.* v 20, 1979, p 1308.

LAPIEDRA, R., F. MARQUÉS, Y A. MOLINA; "Classical predictive electrodynamics of two charges with radiation: Energy and 3-momentum balance and scattering cross sections. II", *J. Math. Phys.* v 20, 1979, p 1316.



LORENTE PARAMO, M.; "La teoría de la relatividad, nuevo paradigma de la ciencia", *Conmemoración del centenario de Einstein en la Real Academia de Ciencias de Madrid*, 1979.

MARAVALL, D.; "El espacio y el tiempo antes y después de Einstein", *Conmemoración del centenario de Einstein en la R. Academia de Ciencias de Madrid*, 1979.

MARTÍNEZ ALONSO; "La correspondencia entre grupos de invariancia y leyes de conservación para sistemas lagrangianos normales", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 75A, 1979, p 33-36.

MARTÍNEZ SALAS Y GAMBI FERNANDEZ; "Un concepto de movimiento rígido en relatividad especial", *Anales Soc. Esp. Física y Quim.*, serie A Física, v 75A, 1979, p 3-6.

PORTILLA MOLL, MIGUEL; *Sistema predictivo, de primer orden en g, para dos partículas en interacción gravitatoria*, Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, 1979.

### Posteriores a 1979<sup>1</sup>

BEL, L. Y J. MARTÍN; "Predictive relativistic mechanics of systems of N particles with spin" *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, 33 no. 4, 1980, p 409-442.

BEL, L. Y J. MARTÍN; "Predictive relativistic mechanics of systems of N particles with spin. II. The electromagnetic interaction", *Annales de l'institut Henri Poincaré (A) Physique théorique*, v 34 n° 2, 1981, p 231-252.

BEL, L., T. Damour, N. Deruelle, J. Ibañez y J. Martín; "Poincaré-invariant gravitational field and equations of motion of two pointlike objects: The postlinear approximation of general relativity", *General Relativity and Gravitation*, v 13, 1981, p 963-1004.

VVAA; *Actas de los Encuentros Relativistas 82 (1982, Bilbao)*, Universidad del País Vasco, 1983.

CERVERÓ, JOSÉ M. Y P.G. ESTEVEZ; "General Solutions for a Cosmological Robertson-Walker Metric in the Brans-Dicke Theory", *General Relativity and Gravitation*, v 15, n° 4, 1983, p 351-356.

GALINDO, A.; "Colapso gravitacional y agujeros negros" en *Soluciones exactas en relatividad general. Colapso gravitacional y agujeros negros*, Editorial Universidad Complutense, Madrid, 1983.

GARCÍA ESTEVEZ, PILAR; *La invariancia conforme en gravitación y cosmología*, Universidad de Salamanca, Dpto de Física Teórica, Salamanca, 1983.

MAS, L.; "Breves ideas sobre soluciones exactas en relatividad general", en *Soluciones exactas en relatividad general. Colapso gravitacional y agujeros negros*, editorial de la universidad complutense, Madrid, 1983.

VVAA; *Actas de los Encuentros Relativistas 82 (1982, Bilbao)*, Universidad del País Vasco, 1983

VVAA; *Actas de los E.R.E 1983 (Palma de Mallorca)*, Universidad de Palma de Mallorca, 1984.

VVAA; *Actas de los Encuentros Relativistas 84, (1984: Santander)*, Secretariado de Publicaciones, Universidad de Valencia, 1985.

---

<sup>1</sup> Evidentemente sólo aparecen los directamente relacionados con lo tratado y que he tenido que consultar. Se recuerda que el límite de este trabajo es hasta 1979. A partir de este año la producción sobre relatividad aumenta considerablemente.

## BIBLIOGRAFÍA SECUNDARIA

ÁLVAREZ, E., J.M. CALLEJA Y C. LÓPEZ, "Another Look at Science in Spain Under Franco", *Physics Today*, Letters, Julio 2002 p. 84.

ATIENZA RIVERO, EMILIO, *Ciencia y exilio. El general Herrera*, Ayuntamiento de Granada, Proyecto Sur ediciones, Granada, 1993.

AUSEJO, ELENA, *Por la ciencia y por la patria: La institucionalización científica en España en el primer tercio del Siglo XX. La Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, siglo XXI editores, Madrid, 1993.

AGUILAR PERIS, J. D. *Julio Palacios y el lenguaje de la física*, Universidad de Santander, 1983.

AUDIN, MICHELE Y PATRICK IGLESIAS, "La geometría simpléctica", *Mundo Científico*, nº 154, v 15, p 116-122.

BERESTETSKII, LIFSHITZ, PITAEVSKII, *Teoría Cuántica Relativista*, (trad Ramón Ortiz Fornaguera), Editorial Reverté, Barcelona, 1971.

BERGIA, SILVIO Y MARIO DI GIOVANNI, "Une histoire qu'on cherche à écrire: la relativité générale en termes d'équations du premier ordre", *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, v 26, nº spécial, 2001, p 81-93.

BERKSON, WILLIAM, *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*, Alianza Editorial, Madrid, 1981.

BIEZUNSKI, MICHEL; "Einstein en Paris", *Mundo Científico*, v2, nº 15, p 592-601.

BOYA, LUIS J. Y MARIANO SANTANDER, "Paradojas relativistas", *Revista Española de Física*, v 19, nº 4, 2005, p 17-24.

BRU, LUIS; "Don Julio Palacios", *Arbor*, nº 291, 1970, p 317.

CABRERA NAVARRO, CABRERA SÁNCHEZ Y GONZÁLEZ DE POSADA; *Blas Cabrera, vida y obra de un científico*, Madrid, 1995.

CALLEYA, ELENA, *Semblanza científico-biográfica de Julio Palacios*, Amigos de la cultura científica, Santander, 1985.

CARPIO ROVIRA, ALFONS; *Ciència y política exterior francesa a l'Espanya de Franco: el cas dels físics catalans*, Centre d'Estudis d'Història de les Ciències (CEHIC), Universidad Autónoma de Barcelona, 2004.

CASTANS CAMARGO, MANUEL; "D. Francisco Morán Samaniego: Aspectos de su vida y obra", *AME, Boletín informativo y cultural de la Asociación Meteorológica Española*, nº 12, Abril 2006, p 24.

CEPA, JORDI; *Cosmología Física*, Akal, Madrid, 2007.

DESER, "The Immortal Bel Robinson Tensor", en *Relativity and Gravitation in general, Proceedings of the Spanish Relativity Meeting in Honour of the 65<sup>th</sup> Birthday of Lluís Bel, Salamanca, Spain, 22-25 september 1998*, ed J. Martín, E. Ruiz, F. Atrio, A. Molina, World Scientific, 1999.

DEWITT Y STORA; *Relativité, Groups et Topologie II*, Les Houches, session XL, 1984.

EINSTEIN, ALBERT; "Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento" (versión en castellano) en Stachel, ed, 1905. *Un año milagroso*, ed. Crítica, Barcelona, 2004.

Einstein, A.; *Notas autobiográficas*. Alianza Editorial, Madrid, 1984.

EINSTEIN, A.; *Sobre la teoría de la Relatividad especial y general*. Alianza Editorial, Madrid, 1999.

- FEDER, TONI; "Science in Spain", *Physics Today*, Agosto 2001, "Section: Issues And Events, v 54, p 20.
- FERNÁNDEZ-RAÑADA, ANTONIO; "Ensayo introductorio" a *Principio de relatividad* de Blas Cabrera, Amigos de la cultura científica, ETS Arquitectura, Madrid, 1999.
- FERRAZ FAYOS, A. *Consideraciones filosóficas sobre la teoría de la Relatividad*. Colección monografías "Aula de Cultura Científica", 1981.
- FEYNMAN, RICHARD; *QED, The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton University Press, 1985 (versión española *Electrodinámica Cuántica*, Alianza Editorial, Madrid, 1992).
- FRENCH, *Relatividad Especial*, Ed. Reverté, 1974.
- GALINDO TIXAIRE, ALBERTO Y MANUEL AGUILAR BENÍTEZ DE LUGO, COORD. *Albert Einstein. Conmemoración del centenario de los trabajos publicados en 1905 y de su obra (1905-2005)*, Instituto de España, Madrid, 2007.
- GALINDO TIXAIRE, A., "Einstein y el tiempo", *Revista Española de Física*, v 19, nº1, 2005, p 64-73.
- GÁMEZ PÉREZ, CARLOS, *El Grupo Interuniversitario de Física Teórica (GIFT): Génesis y desarrollo histórico (1958-1976)*, Programa Interuniversitari de Doctorat d'Història de les Ciències (UAB-UB), Centre d'Estudis d'Història de les Ciències (CEHIC), Universidad Autónoma de Barcelona, 2004.
- GARCÍA CAMARERO, "La ciencia española en el exilio de 1939" en Abellan (dir) *El exilio español de 1939*, tomo 5, madrid, Taurus, 1978.
- GARCÍA CAMARERO, "Los últimos años de Rey Pastor", *Actas del I Simposio sobre Julio Rey Pastor*, Instituto de Estudios Riojanos, Logroño, 1985, p 19-39.
- GARCÍA DONCEL, MANUEL Y ROCA ROSELL, ANTONI; *Observatorio del Ebro. Un siglo de historia (1904-2004)*, Publicaciones del Observatorio del Ebro, Tarragona, 2007.
- GARRIDO, "Una contribución de García Morente al análisis filosófico de la teoría de la relatividad", *Limbo (suplemento Teorema)*, nº 22, 2005, p 45-46.
- GRIBBIN, JOHN; *Companion to the Cosmos*, Londres, 1996, versión en español, *Diccionario del Cosmos*, Crítica, Barcelona, 1997.
- GIRAL GONZÁLEZ, *Ciencia española en el exilio (1939-1988)*, Anthropos, Madrid, 1994.
- GLICK, THOMAS F. ed.; *The comparative Reception of Relativity*, Boston, 1987.
- GLICK, T.F., *Einstein y los españoles*. Madrid, Alianza Editorial, Madrid, 1986 (Reedición CSIC 2005).
- GOLDBERG, STANLEY; *Understanding Relativity. Origin and Impact of a Scientific Revolution*, Birkhäuser, Boston, 1984.
- GONZÁLEZ DE POSADA, FRANCISCO; *Julio Palacios, Físico español, aragonés ilustre*, Amigos de la Cultura Científica, Madrid, 1993.
- GONZÁLEZ DE POSADA, "Blas Cabrera y Julio Palacios: pensamientos opuestos ante la Teoría de la Relatividad", *Limbo*, suplemento de *Teoría* nº 21, 2005, p 1-6.
- GONZÁLEZ DE POSADA, *La física del Siglo XX en la metafísica de Zubiri*, Instituto de España, Madrid, 2001.
- GONZÁLEZ DE POSADA, *Blas Cabrera ante Einstein y la Relatividad*, Ayto Las Palmas, Amigos de la cultura científica, Madrid, 1995.
- GONZÁLEZ DE POSADA, "Ortega ante la teoría de la relatividad", *Limbo, suplemento de Teoría*, Nº 22, 2005, p 9-21.

GONZÁLEZ DE POSADA Y GONZÁLEZ REDONDO, "Ensayo introductorio" en *Principios fundamentales de análisis vectorial en el espacio de tres dimensiones y en el Universo de Minkowski*, de Blas Cabrera, Amigos de la cultura científica, Madrid, 1996.

GONZÁLEZ GONZÁLEZ, JOSÉ; *El observatorio de San Fernando en el siglo XX*, Ministerio de Defensa, Madrid, 2004.

GONZÁLEZ REDONDO, "La reorganización de la Matemática en España. La posibilitación del retorno de Esteban Terradas y Julio Rey Pastor", *La Gaceta de la RSME*, v 5.2, 2002, p 463-490.

GONZÁLEZ RUIZ; *La nueva imagen del mundo. El impacto filosófico de la Relatividad*. Akal ediciones. Madrid, 2003.

GOZALO, JULIO; "Science in Franco's Spain", *Physics Today*, Letters Marzo 2002, p 14.

HERNANDO GONZÁLEZ, "Orientaciones científicas y filosóficas de Echegaray y Cabrera ante la crisis de la ciencia clásica", *Actas del I simposio "Ciencia y Técnica en España de 1898 a 1945: Cabrera, Cajal, Torres Quevedo"*; Amigos de la cultura científica, Lanzarote, 1999.

HOFFMANN, BANESH, *Relativity and its Roots*, NY, 1983. (Trad. española, *La Relatividad y sus orígenes*. Editorial Labor, Barcelona, 1985).

HOLTON, GERALD, "Einstein, Michelson y el experimento crucial", en *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*, Alianza Editorial, 1982.

HOLTON, GERALD, "Mach, Einstein y la búsqueda de la realidad", en *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*, Alianza Editorial, 1982.

LAFUENTE, ANTONIO; "Apuntes sobre Relatividad en España", *Llull*, nº1, 1977, p 35-43.

LAFUENTE, A.; "La Relatividad y Einstein en España". *Mundo Científico*, v 2, nº 15, 1982, p 584-591.

LAFUENTE, A.; "La hipótesis del éter en España", *Llull*, nº 3, 1979, p 15-28.

LANDAU Y LIFSHITZ, *Teoría Clásica de Campos*, Reverté, Barcelona, 1966

LANDAU, *Teoría cuántica relativista*, Reverté, Barcelona, 1971

LERNER, RITA G. Y GEORGE L. TRIGG, *Enciclopedia de la física*, Alianza Diccionarios, Alianza Editorial, Madrid, 1987.

LLOSÁ, R. Y M.A. SELLES, edit; *Sobre los orígenes de la teoría de la relatividad*, UCM, Madrid, 1987.

LOGUNOV, A; *Curso de teoría de la relatividad y de la gravitación*, Editorial URSS, 1998.

LÓPEZ FERRADO, MÓNICA; "La obsesión de Dalí por la ciencia", *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*; casa de Oswalo Cruz, Río de Janeiro, vol 13, suplemento, 2006, p 125-131.

LÓPEZ PIÑERO, GLICK, NAVARRO BROTONS Y PORTELA MARCO; *Diccionario histórico de la Ciencia Moderna en España*. Ediciones Península, 1983.

LÓPEZ RAMOS; *Teorías de la relatividad del movimiento uniforme*, Universidad de Oviedo, Oviedo, 1998.

MAGALLÓN PORTOLÉS, CARMEN, *Pioneras españolas en las ciencias. Las mujeres del Instituto Nacional de Física y Química*, CSIC, Madrid, 1998.

MALDONADO, LUIS Y ARMANDO GARCÍA GONZALEZ; *La España de la técnica y la ciencia*, Madrid, 2002.

MARAVALL, DARÍO; "Einstein", *Rev. R. Acad. Ciencias de Madrid*, 1994, p 105-141.

MARTÍN, JESÚS; "About the Einstein-Bel-Geroch equations", *Relativity and Gravitation in general, Proceedings of the Spanish Relativity Meeting in Honour of the 65<sup>th</sup> Birthday of Lluís Bel*,

- Salamanca, 22-25 septiembre 1998, ed J. Martín, E. Ruiz, F. Atrio, A. Molina, World Scientific, 1999.
- MESSIAH, ALBERT; *Mecánica cuántica, tomo II*, Editorial Tecnos, Madrid, 1965, (Quinta Parte, "Elementos de mecánica cuántica relativista", p 827-996).
- MIRALLES CONESA, LUIS; "José María Plans y Freire (1878-1934)", *Boletín de la Sociedad Castellonense de Cultura*, tomo LXXV, 2000, p 255 a 280.
- MISNER, THORNE Y WHEELER; *Gravitation*; W.H. Freeman and company, San Francisco, 1973.
- MISRÁ, PRATAP Y PER ENGE, *Global Positioning System, Signals, Measurements and Performance*, Ganga-Jamuna Press, Lincoln, Massachusetts, 2001.
- MOLINA I COMPTE, ALFRED; "Desarrollo conceptual de la teoría de la Relatividad" en *El Siglo de la Física*, ed Luis Navarro Verguillas, Tusquets, 1992.
- MONTORO ROMERO, RICARDO; *La Universidad en la España de Franco (1939-1970)*, Centro de Investigaciones sociológicas, Madrid, 1981.
- MUELLER Y KNECKEBRODT, *95 years of criticism of the Special Theory of Relativity (1908-2003)*; The G.O. Mueller Research Project (GOM-Project Relativity), Alemania, 2006.
- NAVARRO BORRAS, "D. José María Plans y Freyre", *Anales de la Universidad de Madrid*, 1934.
- OSTALÉ GARCÍA; "Ortega y la relatividad especial", *El basilisco*, 2ª época, nº32, 2002, p 89-92.
- OTERO CARVAJAL, LUIS ENRIQUE; "Einstein y la teoría de la relatividad. Del Universo estático al Universo en expansión", *Umbral* (Universidad de Puerto Rico), octubre 2007, p 1-30
- OTERO CARVAJAL; "La cosmología relativista. Del Universo estático al Universo en expansión", *Umbral* (Universidad de Puerto Rico), noviembre 2007, p 1-34
- OTERO CARVAJAL; "Madrid científico: relatividad y relativismo en España", *Alfoz. Madrid, Territorio, Economía y Sociedad*, v 66-67, 1989, p 33-48.
- OTERO CARVAJAL (dir.); *La destrucción de la ciencia en España. Depuración universitaria en el franquismo*; Editorial Complutense, Madrid, 2006.
- PAIS, ABRAHAM J; *El Señor es sutil, la Ciencia y la Vida de Albert Einstein*, Ariel, 1984.
- PERALTA, JAVIER; "Sobre el exilio matemático de la Guerra Civil española", *Hispania Nova. Revista de Historia Contemporánea*, nº 6, 2006.
- PÉREZ CELADA, HECTOR; *La teoría de la relatividad y su didáctica en el bachillerato: análisis de dificultades y una propuesta de tratamiento*, Tesis doctoral, Universidad de Valencia, 2003.
- PEARCE WILLIAMS, ed, Albert Einstein, Gröbaum, Eddington y otros; *Relativity Theory: Its Origins and impact on Modern Thought*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1963 (Edición española *La teoría de la Relatividad*, Alianza Editorial, Madrid, 1995).
- PEÑA, FERNANDO; "D. José María Plans y Freyre. Su vida", *Revista Matemática Hispanoamericana*, v 9, 1934, p 81-94.
- PYENSON, *The young Einstein. The advent of Relativity*, 1985 (ed. española, *El joven Einstein*, Alianza Editorial, 1990).
- RIVADULLA, A.; "Inconmensurabilidad y relatividad. Una revisión de las tesis de Thomas Kuhn", *Revista de Filosofía*, v 28, nº 2, 2003, p 237-259.
- RIVADULLA, A.; *Revoluciones en Física*, Editorial Trotta, Madrid, 2003.
- RIVADULLA, A. *Éxito, razón y cambio en física. Un enfoque instrumental de teoría de la ciencia*. Ed Trotta, Madrid, 2004.
- RIVADULLA, ANDRÉS, "Experimentos cruciales en física. El caso Einstein-Lorentz-Aspect" en Andres Rivadulla editor, *Hipótesis y verdad en Ciencia*, Editorial Complutense, Madrid, 2004.

- RIVADULLA, A.; "The newtonian limit of relativity theory and rationality of theory change", *Synthese*, v 141, 2004, p 317-429.
- ROBINSON, I. "Energy, radiation, and the Bel Tensor", en *Relativity and Gravitation in general, Proceedings of the Spanish Relativity Meeting in Honour of the 65<sup>th</sup> Birthday of Lluís Bel, Salamanca, Spain, 22-25 september 1998*, ed J. Martín, E. Ruiz, F. Atrio, A. Molina, World Scientific, 1999.
- ROCA I ROSELL, ANTONI; "El debat sobre la relativitat a Catalunya (1908-1923)", *Actas del II congreso de la Soc. Esp. de Historia de las Ciencias*, Zaragoza, 1984, v 2, p 325-339.
- ROCA I ROSELL, ANTONI Y SÁNCHEZ RON, JM; *Esteban Terradas. Ciencia y técnica en la España contemporánea*, INTA-ed. Del Serbal, 1990.
- ROCA, A. Y SÁNCHEZ RON, "La vuelta de Esteban Terradas a España (1940-1950)", *Llull*, v 6, p 105-142.
- ROCA ROSELL, A. "J. Comas Solá, astrónomo de posición. La irrupción de la ciencia en la vida pública catalana", *Mundo Científico*, vol 6, nº 56, p 290-303.
- ROMERO DE PABLOS, ANA Y SÁNCHEZ RON, edit. *Einstein en España*, Residencia de estudiantes, Madrid, 2005.
- ROMERO DE PABLOS, ANA; *Cabrera, Moles Rey Pastor; La europeización de la Ciencia, un proyecto truncado*, Nivola ediciones, Madrid, 2002.
- SÁNCHEZ RON, JOSÉ MANUEL; *Cinzel, Martillo y Piedra. Historia de la Ciencia en España Siglos XIX y XX*, Taurus, Madrid, 1999.
- SÁNCHEZ RON, J.M.; *El origen y desarrollo de la Relatividad*; Alianza Editorial, Madrid, 1985.
- SÁNCHEZ RON, J.M.; *José Echegaray*, Biblioteca de la Ciencia Española, Fundación Banco Exterior, Madrid, 1990.
- SÁNCHEZ RON, J.M.; ed; *La Junta para Ampliación de Estudios e investigaciones científicas*, CSIC, Madrid, 1988.
- SÁNCHEZ RON, J.M.; "Las interacciones Ciencia-Sociedad a la luz de la Relatividad y de su creador, Einstein" en *El Siglo de la Física*, Tusquets, 1992.
- SÁNCHEZ RON, J.M.; "Centenario de la RSEF 1903-2003. La Física en España (I) y (II)", *Revista Española de Física*, Enero-Feb. 2003, p 5-9; Marzo- Abril 2003, p 8-14.
- SÁNCHEZ RON, J.M.; "La Física en España (III). El primer tercio del siglo XX." *Revista Española de Física*. Real Sociedad Española de Física, Marzo-Abril 2003.
- SÁNCHEZ RON, J.M.; "La Física en España (IV): la era franquista", *Revista Española de Física*. Real Sociedad Española de Física, Julio-Agosto 2003.
- SÁNCHEZ RON, "Echoes of the Civil War: Physics in Franco's Spain", en De Maria, Grilli, Sebastian, *The restructuring of physical sciences in Europe and The United States 1945-1960*, 1990, p 304-311.
- SÁNCHEZ RON Y THOMAS F. GLICK; *La España posible de la Segunda República: la oferta de una cátedra extraordinaria en la Universidad Central (Madrid, 1933)*, Editorial Universidad Complutense, Madrid, 1983.
- SÁNCHEZ RON, J.M., ed; *Einstein. Obra esencial*, Crítica, Barcelona, 2005.
- SANZ MENÉNDEZ, LUIS; *Estado, ciencia y tecnologías en España: 1939-1997*, Alianza Editorial, Madrid, 1997.
- SELLÉS, MANUEL A. "Espacio y tiempo en la teoría de la relatividad de Julio Palacios", *Asceplio*, v34, 1982, p 219-238.

- SELLÉS, MANUEL, A. "La Teoría de la Relatividad de Julio Palacios", *Actas del II congreso de la Soc. Esp. de Historia de las Ciencias*, Zaragoza, 1984, v 2, p 437-451.
- SENOVILLA, JOSÉ M.; "Remarks on superenergy tensors", en *Relativity and Gravitation in general, Proceedings of the Spanish Relativity Meeting in Honour of the 65<sup>th</sup> Birthday of Lluís Bel, Salamanca, Spain, 22-25 september 1998*, ed J. Martín, E. Ruiz, F. Atrio, A. Molina, World Scientific, 1999.
- SENOVILLA, J.M.; "Editor's note. Radiation States and the Problem of Energy in General Relativity by Louis Bel", *General Relativity and Gravitation*, v 32, n 10, 2000, p 2043-2046.
- SMITH, JAMES; *Introducción a la relatividad especial*, Ed. Reverté, Barcelona, 1978.
- SMITH, ROBERT W.; *The expanding Universe. Astronomy's "Great Debate", 1900-1931*, Cambridge Univ. Press, 1982 (Ed española *El universo en expansión: el gran debate de la astronomía, 1900-1931*, Alianza, Madrid, 1993)
- SNYDER Y HALL, "A new Measurement of the Relativistic Doppler Shift", *Lecture Notes in Physics*, vol 43, 1975.
- SOLER FERRÁN, PABLO; "Un aspecto de la recepción de la relatividad en España: el tratamiento en medios religiosos", en VVAA, *Religión y Ciencia*, Ediciones Universidad Castilla La Mancha, Cuenca, 2007, p 57-95.
- SOMMERFELD, ARNOLD; *Electrodynamics. Lectures on Theoretical Physics, Vol III.*, New York, 1952.
- STRATTON, *Electromagnetic Theory*, McGraw-Hill, New York, 1941.
- SYNGE, J.L.; *Relativity: the general theory*, North Holland Publishing, 1960.
- SYNGE, *Talking about relativity*, 1970 (ed española *Hablando sobre relatividad*, EUNSA, 1976)
- STRUIK, *Geometría diferencial clásica*, AGUILAR, 1973
- TINOCO, J. "Apuntes para la Historia del Observatorio de Madrid", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1952*, 1951, p 307-392.
- TONNELAT, *Les verifications expérimentales de la Relativité Générale*, París, 1964.
- TURRIÓN BERGES, JAVIER, *Einstein. I Diálogo Galileano. II El tiempo propio*, ed Unaluna, Zaragoza, 2002
- TURRIÓN BERGES, J., "Einstein en España", *Monografías de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza*, 2005, pág 35-68.
- UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, *Centenario de Julio Palacios, 1891-1991*, UCM, Madrid, 1991.
- VALERA CANDEL, MANUEL Y LÓPEZ FERNÁNDEZ, CARLOS; *La Física en España a través de los Anales de la Sociedad Española de Física y Química 1903-1965*. Universidad de Murcia, 2001.
- VVAA, *50 años de investigación en Física y Química en el edificio Rockefeller de Madrid, 1932-1982*, CSIC, 1982.
- Vaquero Martínez, José M., *El éter en la Física española del primer tercio del Siglo XX: El caso de Pedro Carrasco Garrorena (1883-1966)*, Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura, Badajoz, 2001.
- VILLENA, LEONARDO, *Julio Palacios: labor didáctica, confinamiento y proyección internacional*, Amigos de la cultura científica, 1985.
- WEINBERG, STEVEN; *Gravitation and Cosmology: principles and applications of the general theory of relativity*, John Wiley & Sons, Cambridge, Massachusetts, 1972.

WILL, CLIFFORD M, *Was Einstein Right?*, Nueva York, 1986 (ed. española *¿Tenía razón Einstein?, la espectacular confirmación de la teoría de la relatividad*, Gedisa editorial, Barcelona, 1989)

WILL, CLIFFORD, *Theory and experiment in gravitational physics*, Cambridge University Press, 1993.

YAKOV P. TERLETSKII, *Paradoxes in the Theory of Relativity*, Plenum Press, Nueva York, 1968.